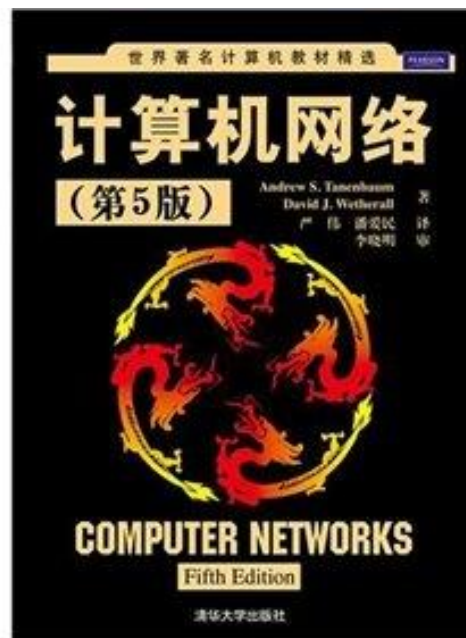


# 计算机网络

ANDREW S. TANENBAUM (5 EDITION)



学院：互联网学院  
讲授：李春春

# 参考书目

## 计算机网络 - 自顶向下方法

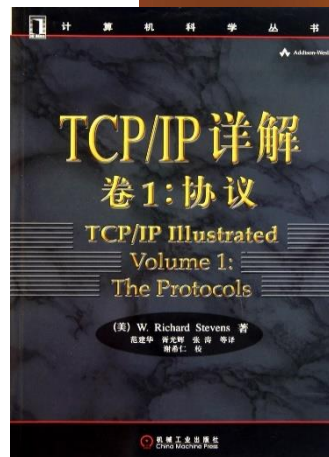
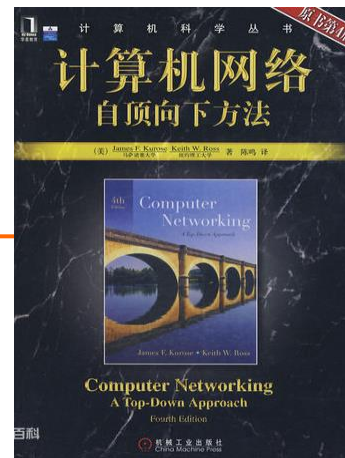
James F. Kurose 高等教育出版社

## 计算机网络

谢希仁 电子工业出版社

## TCP/IP详解

Kevin R. Fall 机械工业出版社



# 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：每周四上午1, 2, 3, 4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

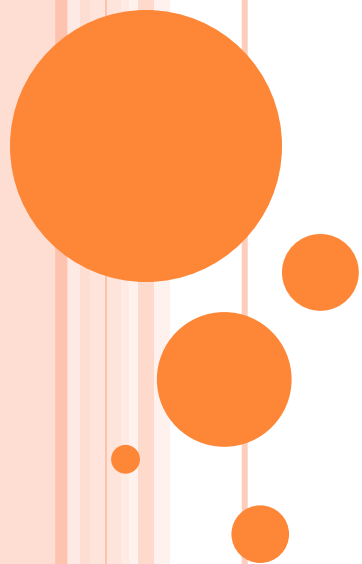
第6章 传输层

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



# 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？）

# 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
- 移动应用
- 社会问题

# 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

# 互联网的组成

---

从互联网的工作方式上看，可以划分为两大块：

- 边缘部分：

由所有连接在互联网上的主机（PC）组成。

这部分是用户直接使用的，

用来进行通信（传送数据、音频或视频）和资源共享。

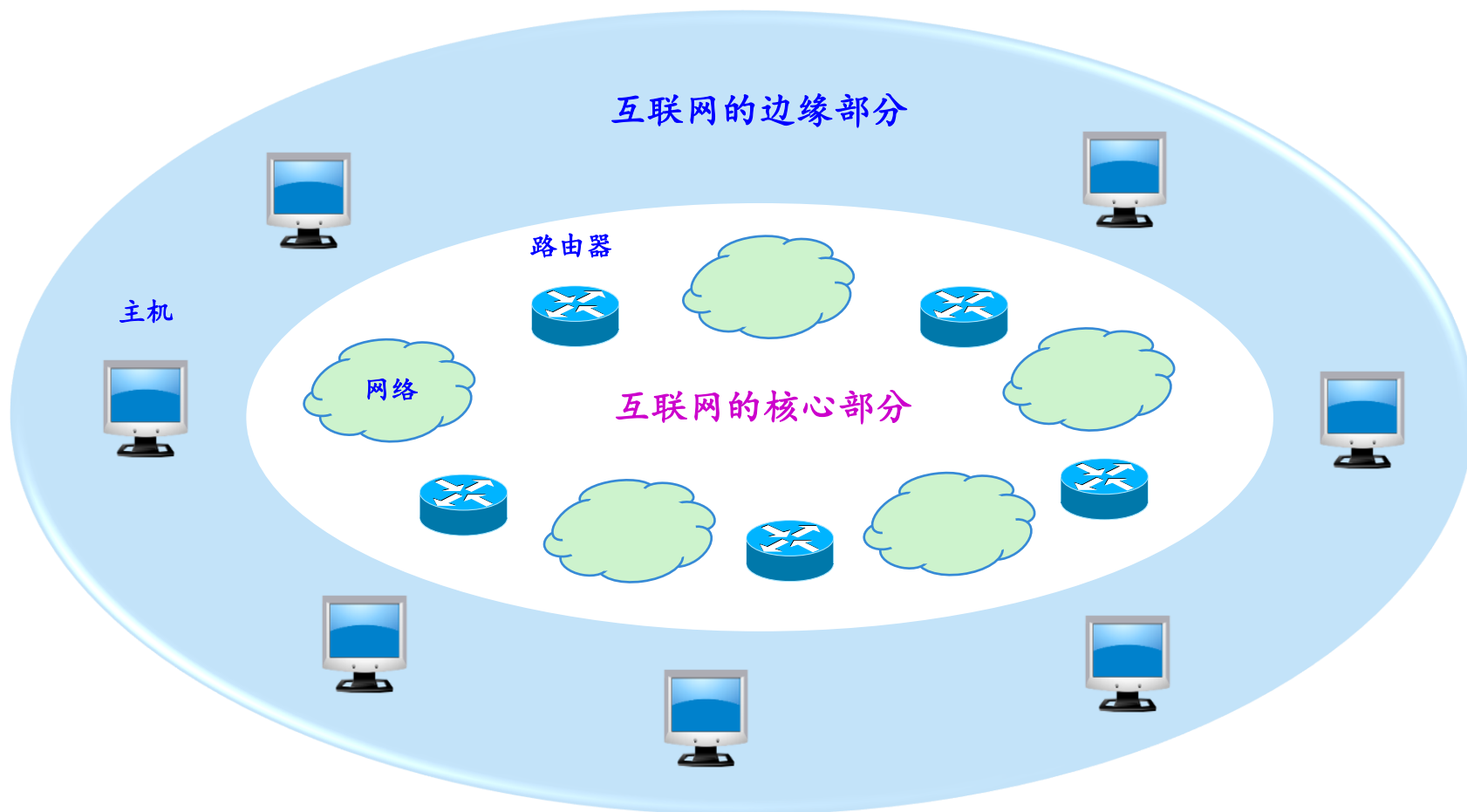
- 核心部分：

由大量网络和连接这些网络的路由器组成。

这部分是为边缘部分提供服务的（提供连通性和交换）

使PC之间能够相互通信

# 互联网的组成

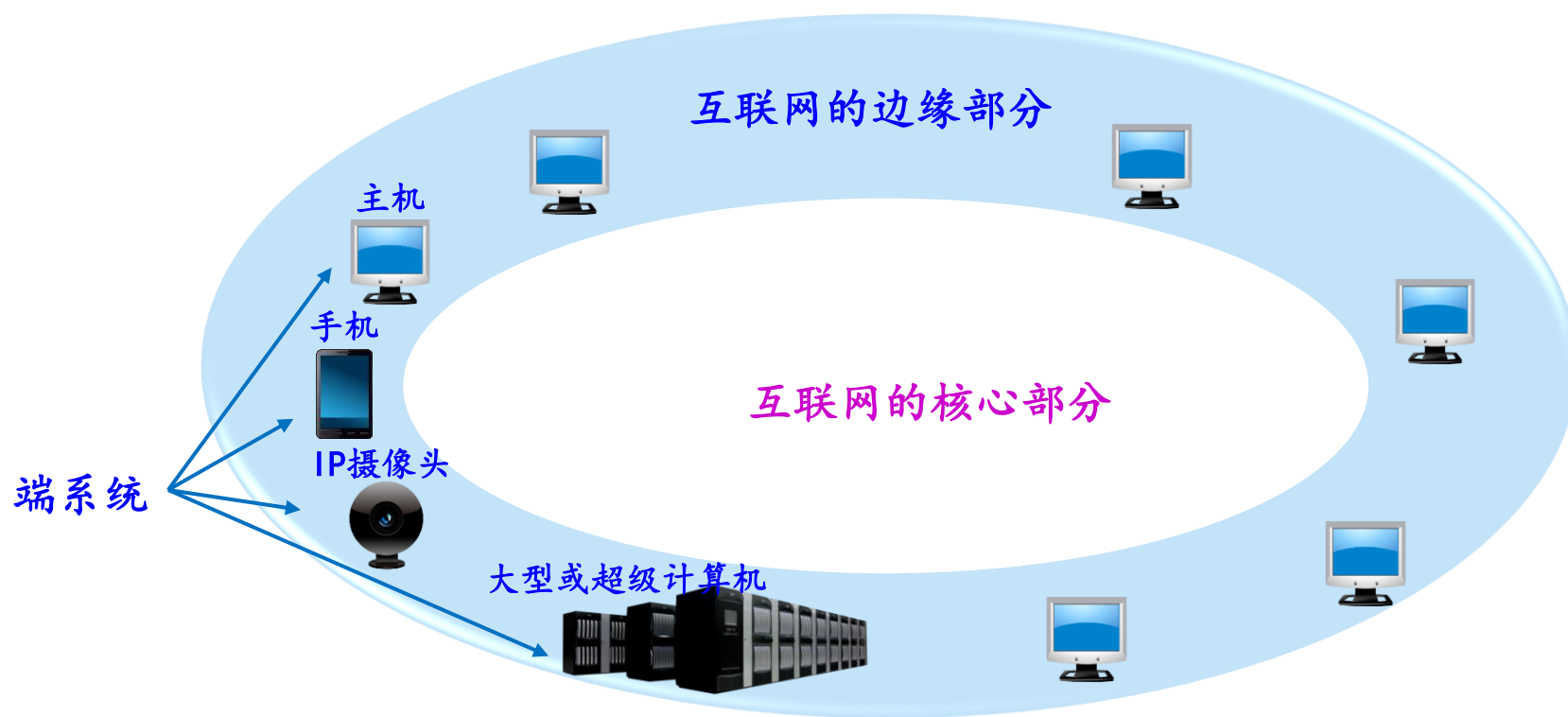


# 互联网的边缘部分

---

- 处在互联网边缘的部分就是连接在互联网上的所有的主机。这些主机又称为端系统 (end system)。
- 端系统在功能上可能有很大的差别：
  - 小的端系统可以是一台普通个人电脑，具有上网功能的智能手机，甚至是一个很小的网络摄像头。
  - 大的端系统则可以是一台非常昂贵的大型计算机。
  - 端系统的拥有者可以是个人，也可以是单位（如学校、企业、政府机关等），当然也可以是某个 ISP。

# 互联网的边缘部分





# 端系统之间的两种通信方式

---

客户-服务器方式 (C/S  
方式)

即 Client/Server 方

对等方式 (P2P方式)

即 Peer-to-Peer

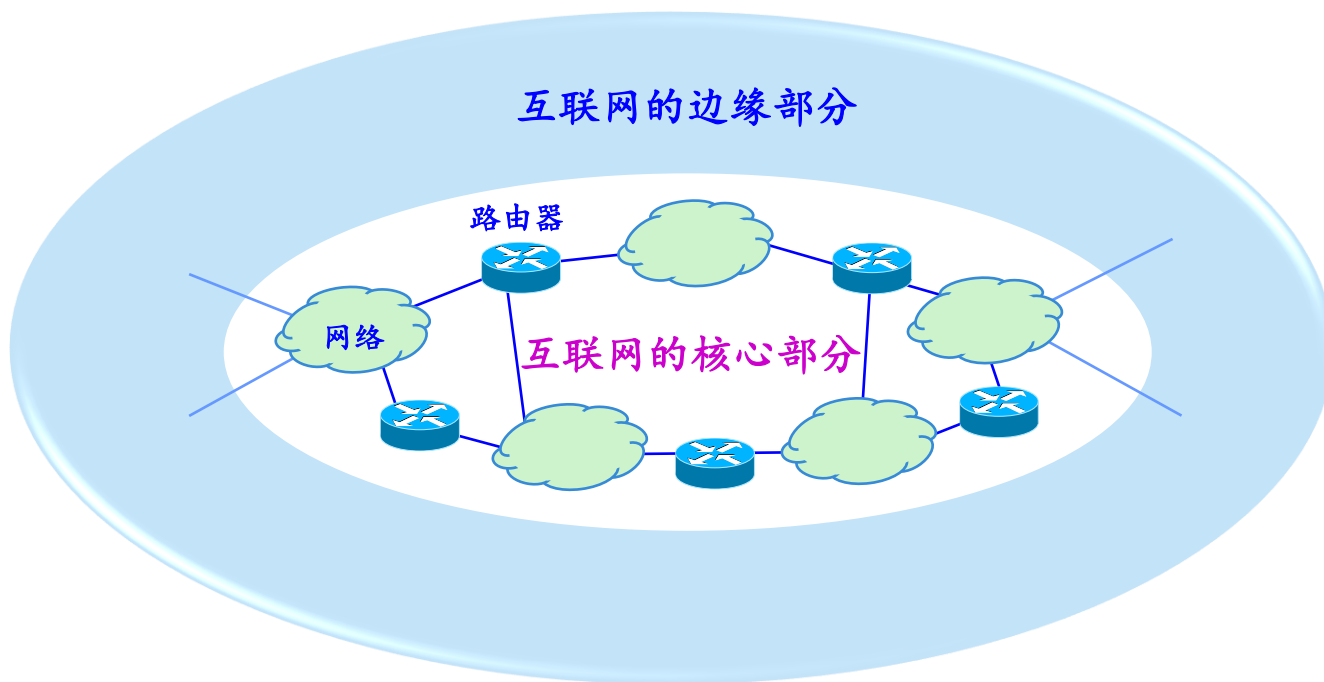
方式，简称为 P2P

# 互联网的核心部分

---

- 网络核心部分是互联网中最复杂的部分
- 网络中的核心部分要向网络边缘中的大量主机提供连通性，使边缘部分中的任何一个主机都能够向其他主机通信（即传送或接收各种形式的数据）
- 在网络核心部分起特殊作用的是**路由器**（router）
- 路由器是实现**分组交换**（packet switching）的关键构件，其任务是**转发**收到的分组，这是网络核心部分最重要的功能

# 互联网的核心部分



- 在网络核心部分起特殊作用的是**路由器** (router)。
- 路由器是实现**分组交换** (packet switching) 的关键构件，其任务是转发收到的分组，这是网络核心部分最重要的功能。

**分组转发**是网络核心部分最重要的功能。

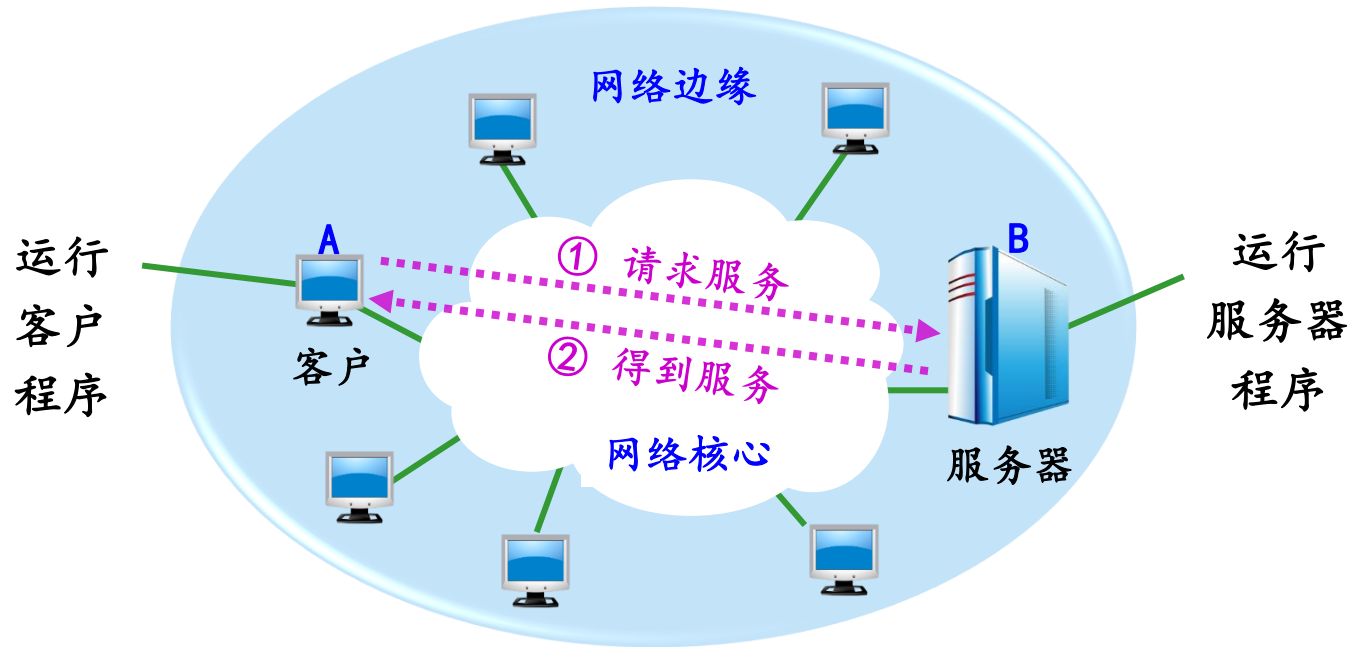
# C-S模型（客户-服务器）

---

- 客户 (client) 和服务 器 (server) :  
都是指通信中所涉及的两个应用进程
- C/S方式:  
所描述的是进程之间服务和被服务的关系。
  - 客户是服务的请求方
  - 服务器是服务的提供方

服务请求方和服务提供方都要使用网络核心部分所提供的服务。

# C-S模型（客户-服务器）



客户 A 向服务器 B 发出请求服务，服务器 B 向客户 A 提供服务  
服务器这边的带宽容易成为瓶颈

# 客户软件的特点

---

- 被用户调用后运行，在打算通信时**主动**向远地服务器发起通信（请求服务）。  
因此，客户程序必须知道服务器程序的地址。
- 客户端上的360浏览器或者IE浏览器等，都可以向远端的服务器发送请求
- 不需要特殊的硬件和很复杂的操作系统。

# 服务器软件的特点

---

- 一种专门用来提供某种服务的程序，可**同时处理**多个远地或本地客户的请求。
- 系统启动后即自动调用并一直不断地运行着，被动地等待并接受来自各地的客户的通信请求。因此，服务器程序不需要知道客户程序的地址。
- 一般需要强大的硬件和高级的操作系统支持。

客户与服务器的通信关系建立后，通信可以是双向的，客户和服务器都可发送和接收数据。

# 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



# 电子商务

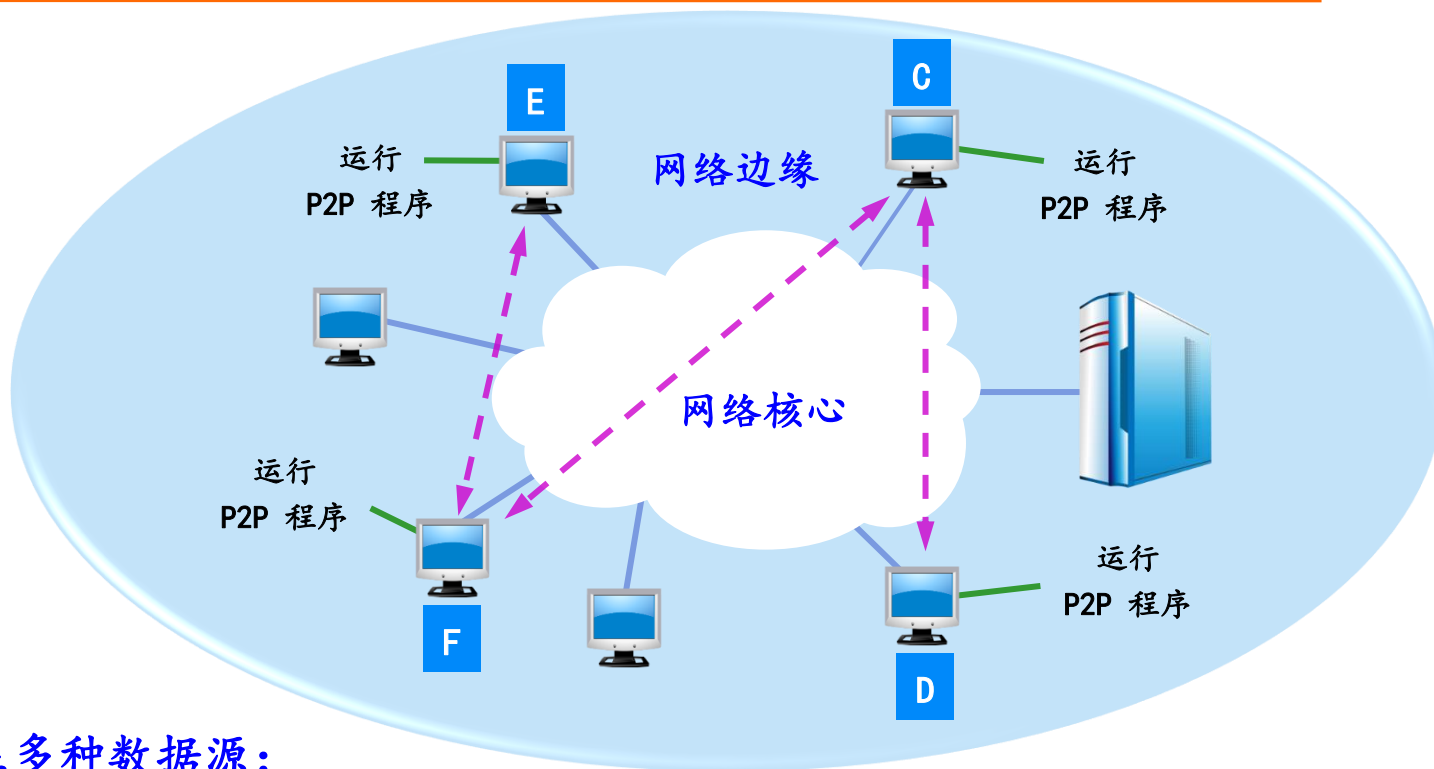
标记	全称	例子	网站
B2C	企业-消费者	在线商城	当当，10086，12306
B2B	企业-企业	汽车制造商与供应商	阿里，中国供应商等
G2C	政府-消费者	电子税收	12123
C2C	消费者-消费者	在线拍卖二手物品	淘宝，闲鱼
P2P	对等	音乐共享	电驴、BT下载等
O2O	线上-线下	各类团购、在线约车等	美团，大众点评等

# 对等连接方式

---

- **对等连接**（peer-to-peer，简写为 **P2P**）是指两个主机在通信时并不区分哪一个是服务请求方还是服务提供方。
- 主机既是客户端又是服务器，双重角色
- 只要两个主机都运行了对等连接软件（**P2P 软件**），它们就可以进行**平等的、对等连接通信**。
- 双方都可以下载对方已经存储在硬盘中的共享文档。

# P2P方式—案例



## P2P下载存在多种数据源：

当下载时会找到很多数据源，然后测试可用的数据源；所以数据下载时可以同时从多个可用源下载同一份文件

举例：以图中结点C, E, F为例：F下载文档file (300M)，可用源C和E：

则：F可以从C下载200M同时从E下载100M

所以在P2P方式中：数据源越多，下载速度越快

# 对等连接方式的特点

---

- 对等连接方式从本质上看仍然是使用客户服务器方式，只是对等连接中的**每一个主机既是客户又是服务器**。
- 例如主机 C 请求 D 的服务时，C 是客户，D 是服务器。但如果 C 又同时向 F 提供服务，那么 C 又同时起着服务器的作用。

对等连接工作方式可支持大量对等用户（如上百万个）同时工作。

# 移动用户

---

无线	移动	典型应用
不是	不是	办公室的台式计算机
不是	是	酒店房间里使用的一台笔记本电脑
是	不是	未曾布线的建筑物内的网络
是	是	手持计算机清点商店库存

## ○可穿戴计算机

# 社会问题

---

- 网络中立（处理优先级）
- 安全问题（钓鱼软件等）
- 政治敏感性
- 法律
- 信息可靠性

# 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

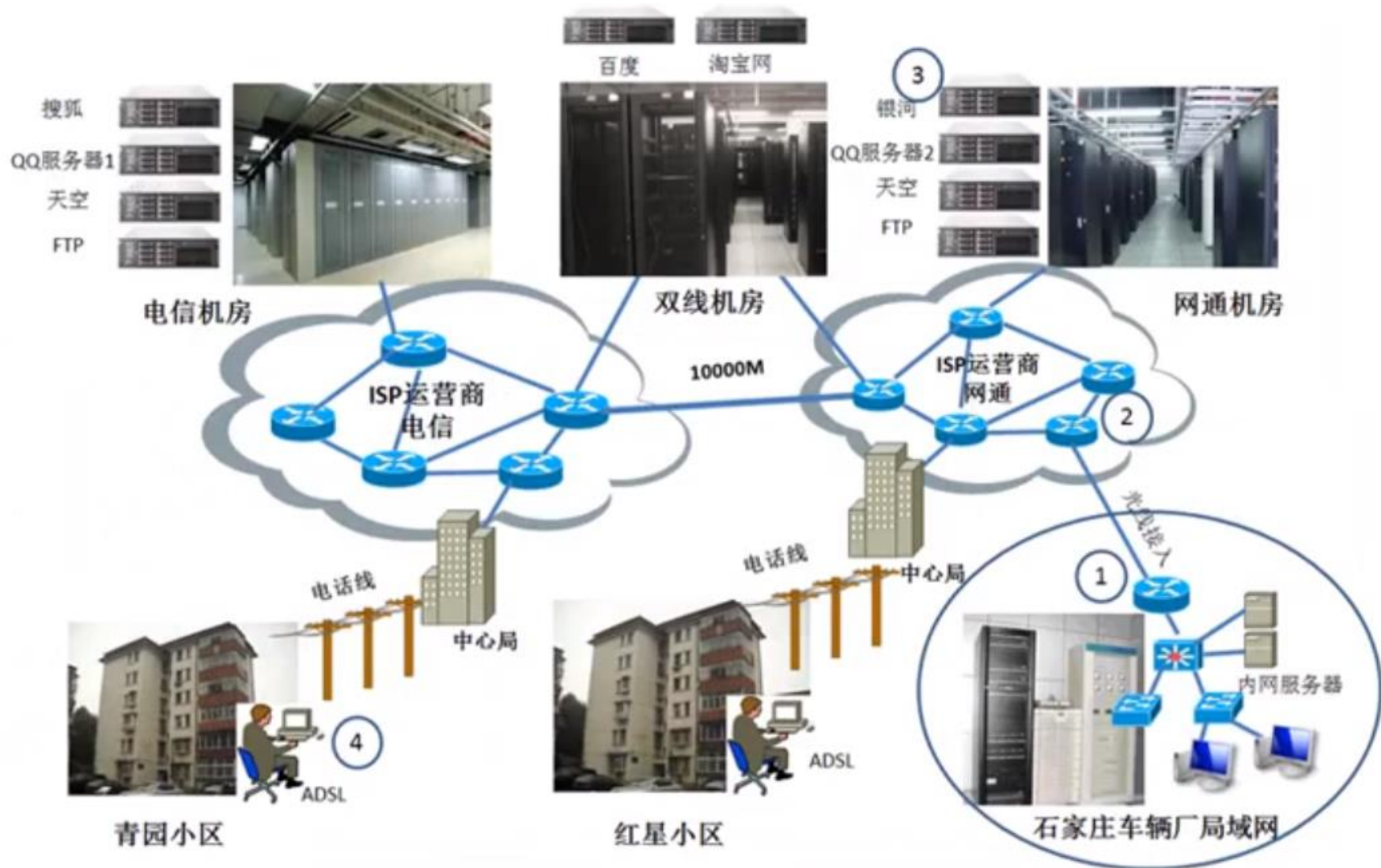
1.4 参考模型

1.5 网络实例

1.6 网络标准化



## 1.2 网络硬件





# 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：

通信信道被所有机器共享，任一机器发的数据包能被所有其他机器收到。

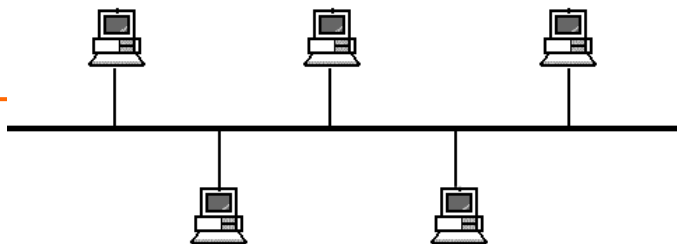
- 总线LAN

- 无线网络

- 广播地址：广播，组播

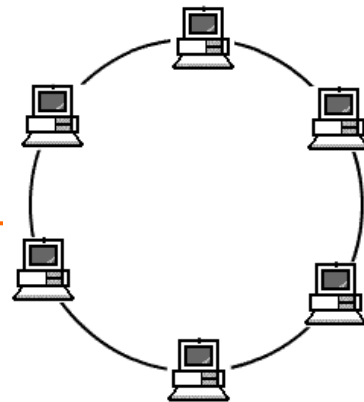
# 按拓扑结构分类

○ 总线



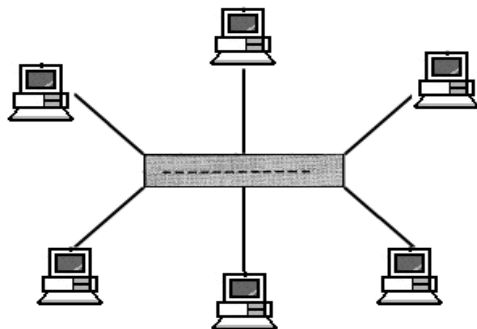
总线型拓扑结构

○ 环形



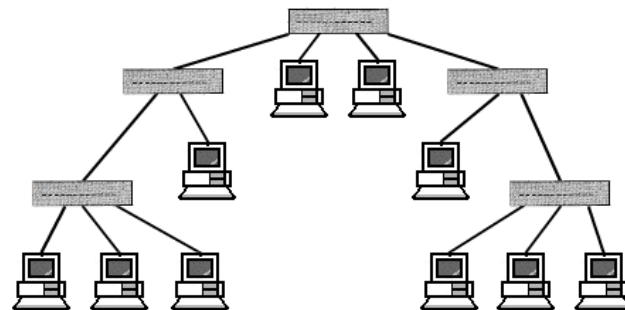
环型拓扑结构

○ 星形



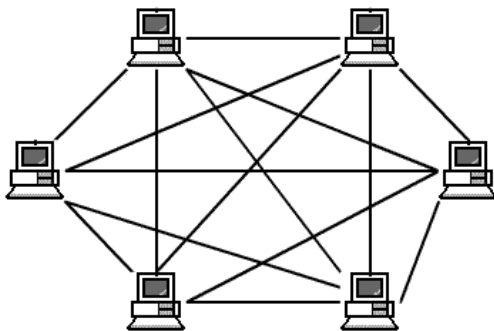
星型拓扑结构

○ 树形



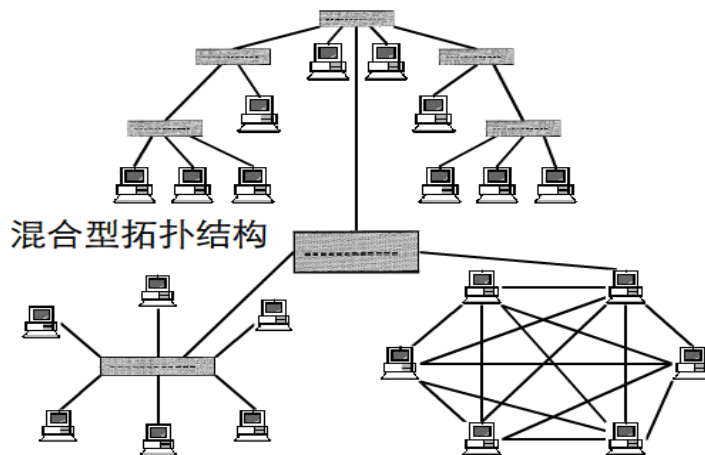
树型拓扑结构

○ 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

# 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，带宽固定，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

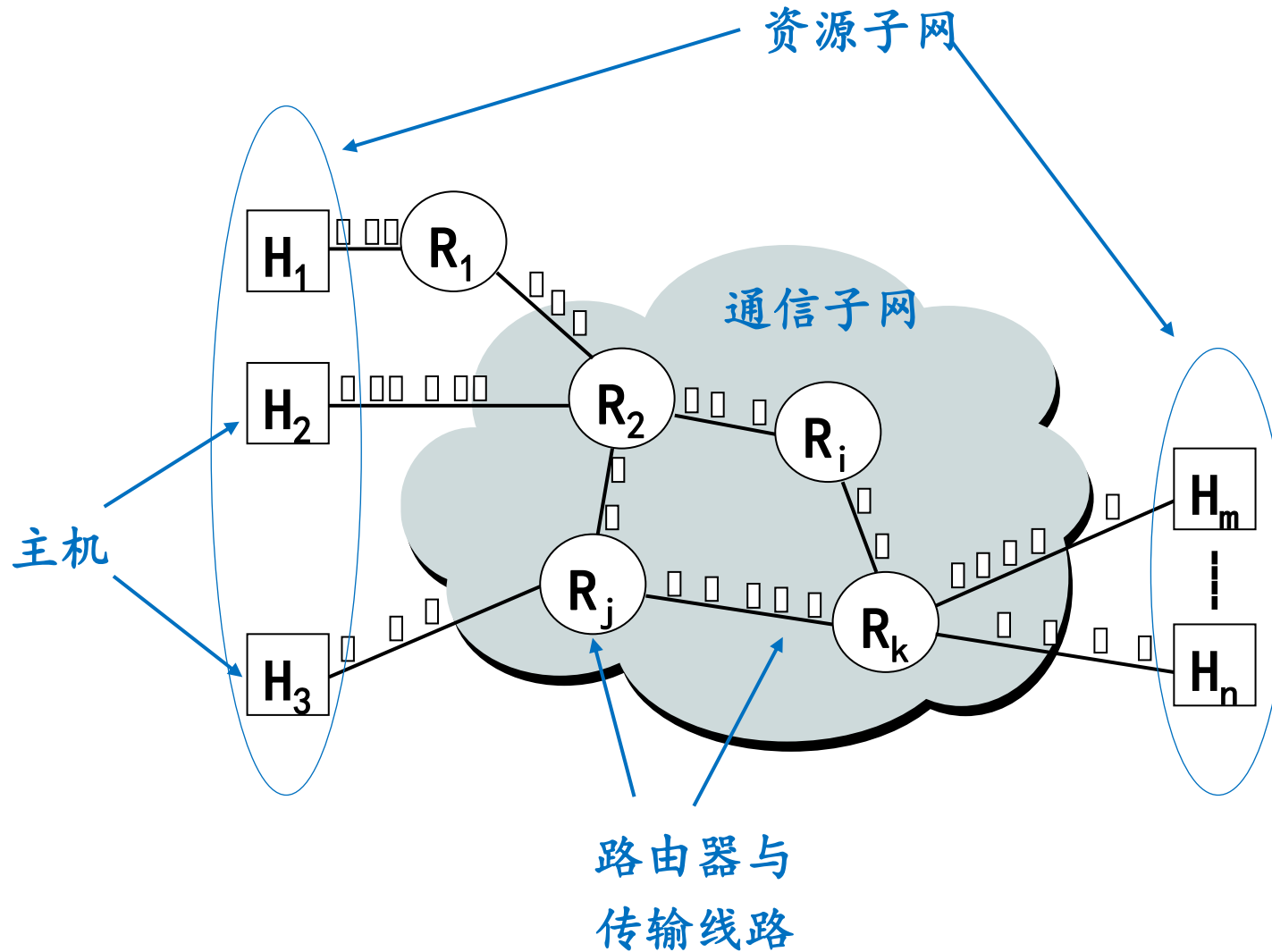
# WAN - WIDE AREA NETWORK

---

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

- 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。
- 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。
- WAN的通信子网可连接计算机或LAN。

# 互联网概念

---

- 互联网，特指 Internet
- 它起源于美国，是由数量极大的各种计算机网络互连起来而形成的一个互连网络。它采用 **TCP/IP 协议族** 作为通信规则，是一个覆盖全球、实现全球范围内连通性和资源共享的计算机网络。



# INTERNET 和 INTERNET 的区别

---

- 以小写字母 “i” 开始的 internet（互连网）：  
是一个通用名词  
泛指由多个计算机网络互连而成的网络。
- 以大写字母 “I” 开始的 Internet（互联网或因特网）：  
是一个专用名词  
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  
采用 TCP/IP 协议族作为通信的规则  
其前身是美国的 ARPANET。

# 互联网与互连网

---

互联网（Internet）	互连网（internet）
相似之处	
网络的网络	网络的网络
不同之处	
特指遵循 TCP/IP 标准、利用路由器将各种计算机网络互连起来而形成的、一个覆盖全球的、特定的互连网	泛指由多个不同类型计算机网络互连而成的网络
使用 TCP/IP	除 TCP/IP 外，还可以使用其他协议
是一个专用名词	是一个通用名词

# 互联网基础结构发展的三个阶段

---

**第一阶段：**从单个网络 ARPANET 向互联网发展的过程

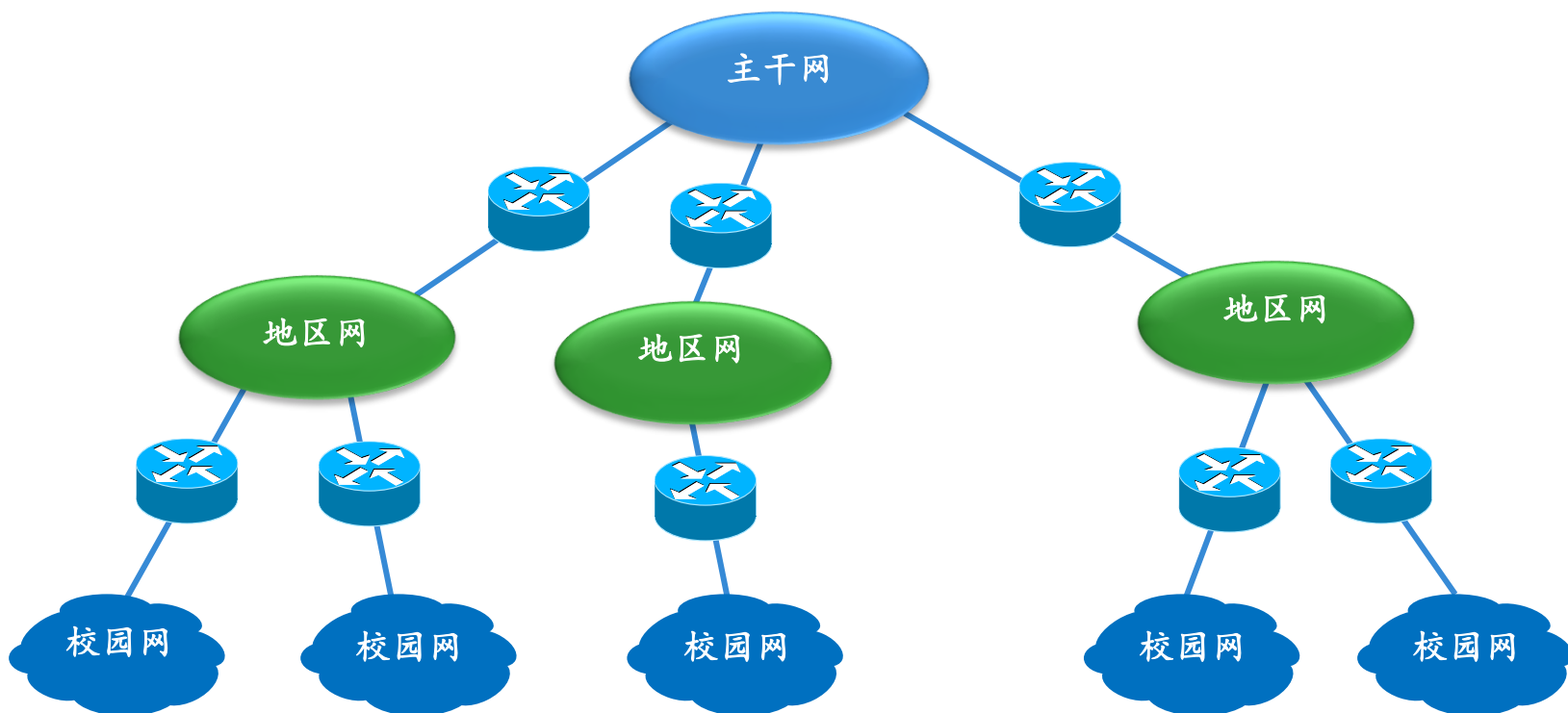
- 1983 年，TCP/IP 协议成为 ARPANET 上的标准协议，使得所有使用 TCP/IP 协议的计算机都能利用互连网相互通信
- 人们把 1983 年作为互联网的诞生时间
- 1990年，ARPANET 正式宣布关闭



# 互联网基础结构发展的三个阶段

## 第二阶段：建成了三级结构的互联网

- 是一个三级计算机网络
- 分为主干网、地区网和校园网（或企业网）



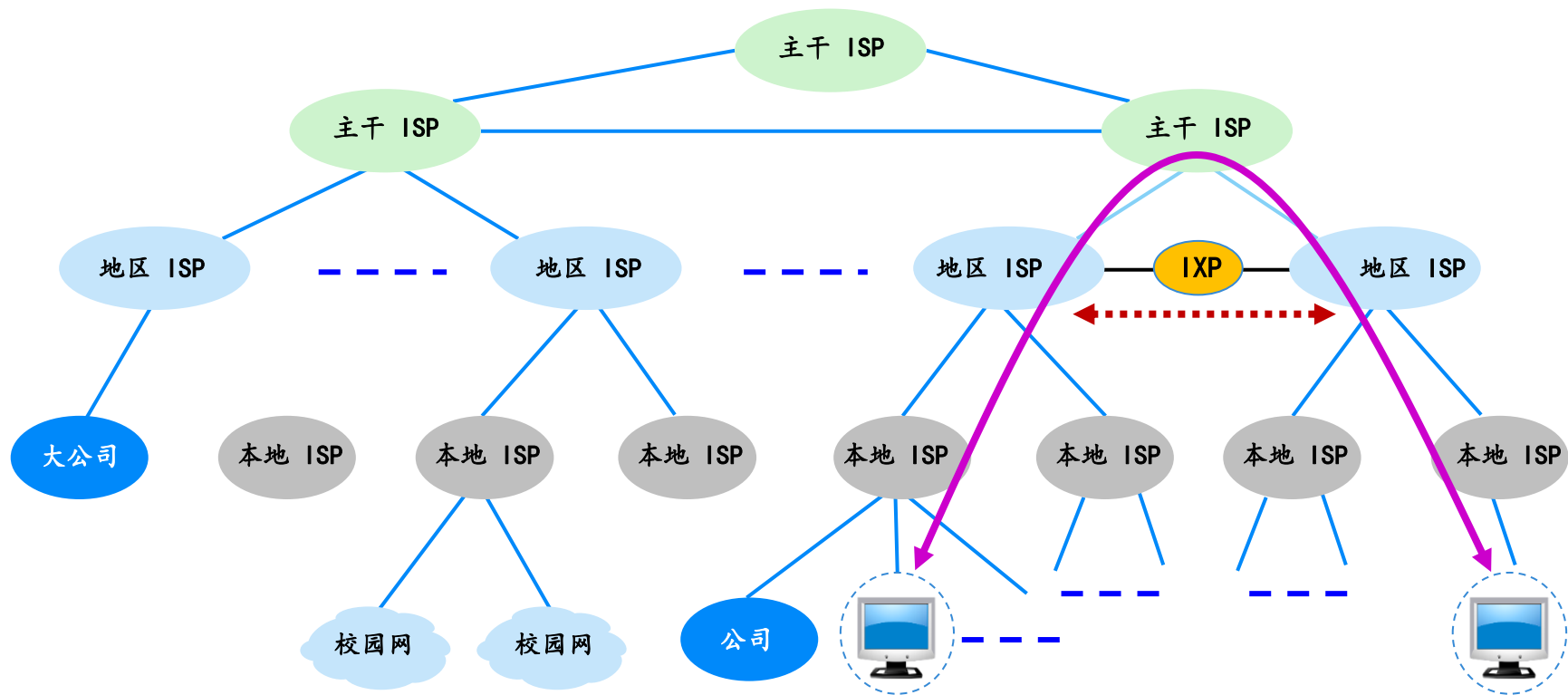
# 互联网基础结构发展的三个阶段

---

**第三阶段：**逐渐形成了多层次 ISP 结构的互联网。

- 出现了**互联网服务提供者 ISP** (Internet Service Provider)。
- 任何机构和个人只要向某个 ISP 交纳规定的费用，就可从该 ISP 获取所需 IP 地址的使用权，并可通过该 ISP 接入到互联网。
- 根据提供服务的覆盖面积大小以及所拥有的 IP 地址数目的不同，ISP 也分成为**不同层次的 ISP**：**主干 ISP、地区 ISP 和本地 ISP**。

# 互联网基础结构发展的三个阶段



主机 A → 本地 ISP → 地区 ISP → 主干 ISP → 地区 ISP → 本地 ISP → 主机 B

- 第三层ISP(本地ISP): 提供互联网接入
- 第二层ISP(地区ISP): 连接第三层ISP
- 第一层ISP(主干ISP): 连接第二层ISP

# 多层ISP举例

---

## ○ 举例：

- 安徽省电信可以属于第二层ISP
- 向Internet申请一个地址范围
- 不同的市电信属于第三层ISP（合肥，安庆）
- 不同的城市的电信ISP向安徽省电信申请一个地址范围

## ○ 举例：网站服务器存放的位置

- 根据服务的对象（以下方式，可以提升访问速度）
- 若该网站针对中国用户，可以将Server放置第二层ISP
- 若该网站针对全球用户，可以将Server放置第一层ISP

# 网络分类

---

- 按传输介质分

有线网 无线网

- 按使用范围分

专用网 公用网

# 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

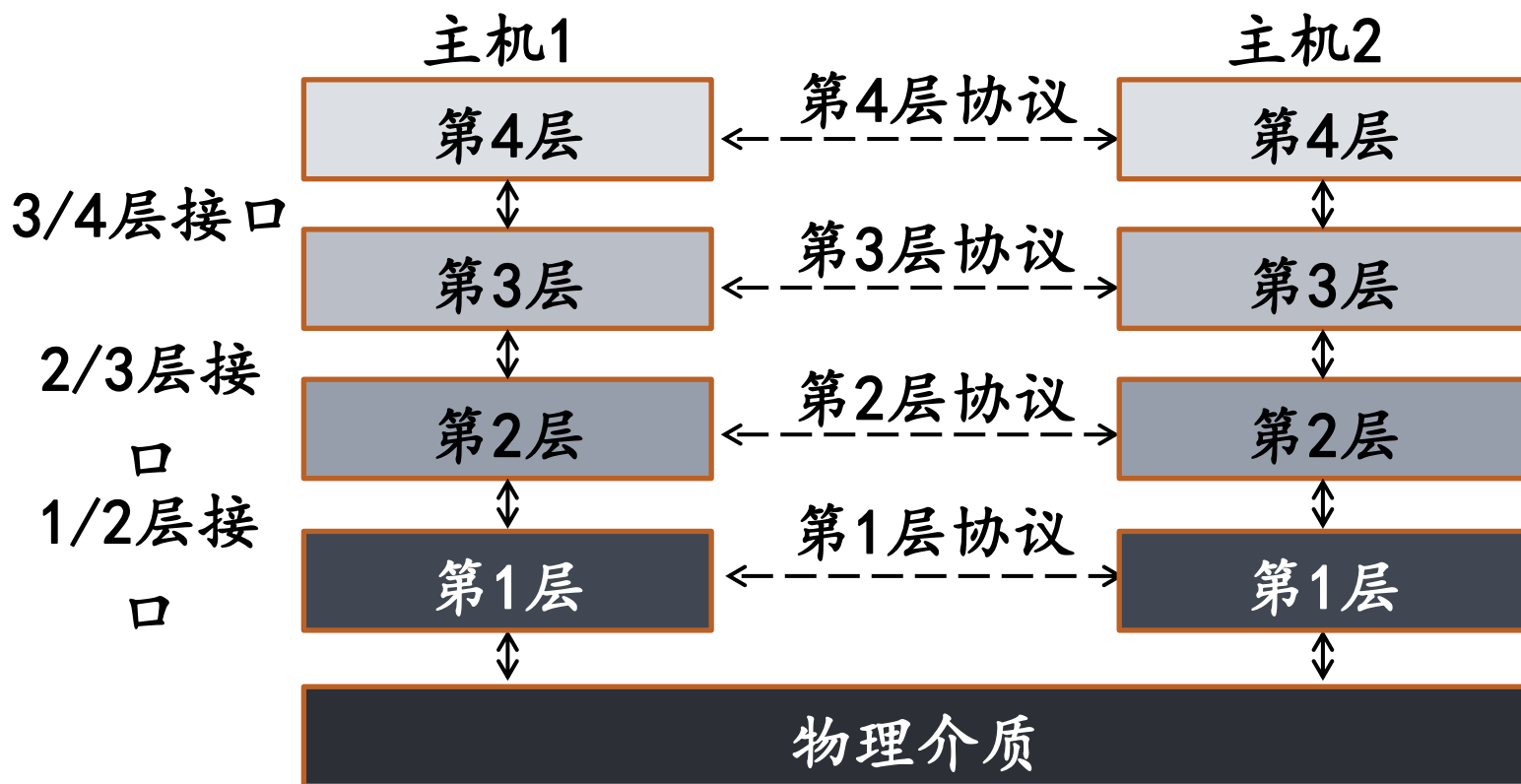
## 1.5 网络实例

## 1.6 网络标准化



## 1.3 网络软件

- 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。



# 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。
- 类比案例：
  - 人与人之间的交流(say hello)
  - 座机通话(先拨号)



# 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

# 层次设计问题

## ○ 计算机网络设计种需要考虑的问题

### 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

# 服务

---

## ○ 面向连接的服务

- 首先要在信源与信宿之间建立连接，然后在此连接上通信，最后拆除连接。
- 特点：占用一定的资源，可靠，按序传送  
(不同层占用的资源不同，传输层服务会占用主机的资源，网络层或链路层会占用转发节点的资源)

## ○ 面向无连接的服务

- 传送数据前不需要建立连接，即有即送
- 将每个输单元打包，在包头添加地址信息。
- 特点：每个数据包独自寻路(重复劳动)，同一数据流的包可能经由不同的路径到达目的地，到达的顺序也可能颠倒。

# 面向连接 VS 面向非连接的服务

---

		Service	Example
Connection-oriented	{	Reliable message stream	Sequence of pages
		Reliable byte stream	Movie download
		Unreliable connection	Voice over IP
		Unreliable datagram	Electronic junk mail
Connection-less	{	Acknowledged datagram	Text messaging
		Request-reply	Database query

# 服务原语

---

Primitive	Meaning
LISTEN	Block waiting for an incoming connection
CONNECT	Establish a connection with a waiting peer
ACCEPT	Accept an incoming connection from a peer
RECEIVE	Block waiting for an incoming message
SEND	Send a message to the peer
DISCONNECT	Terminate a connection

# 几个概念

---

- **实体 (entity)**：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**”，是控制对等实体之间通信的规则
- 服务是“**垂直的**”，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)。

# 数据单元的名称与关系

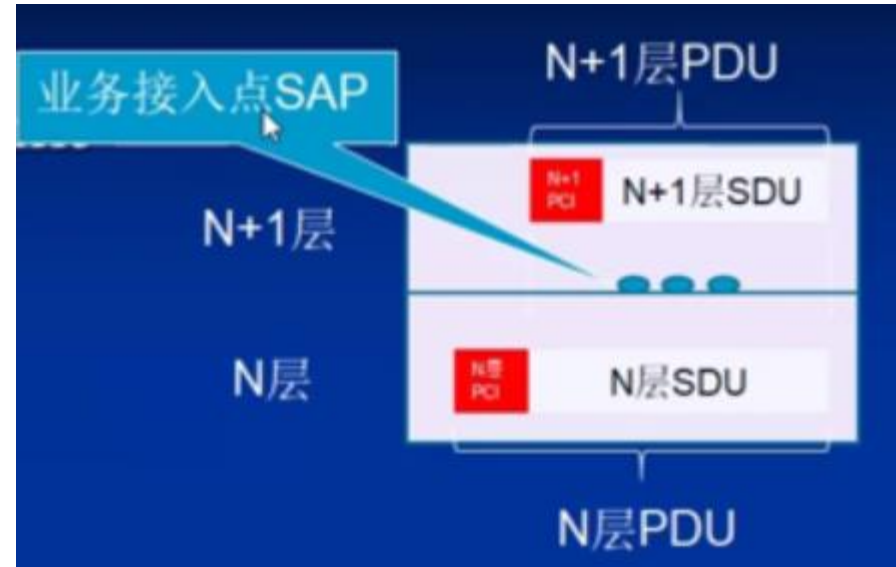
## 业务接入点 service access point

## 数据单元的名称

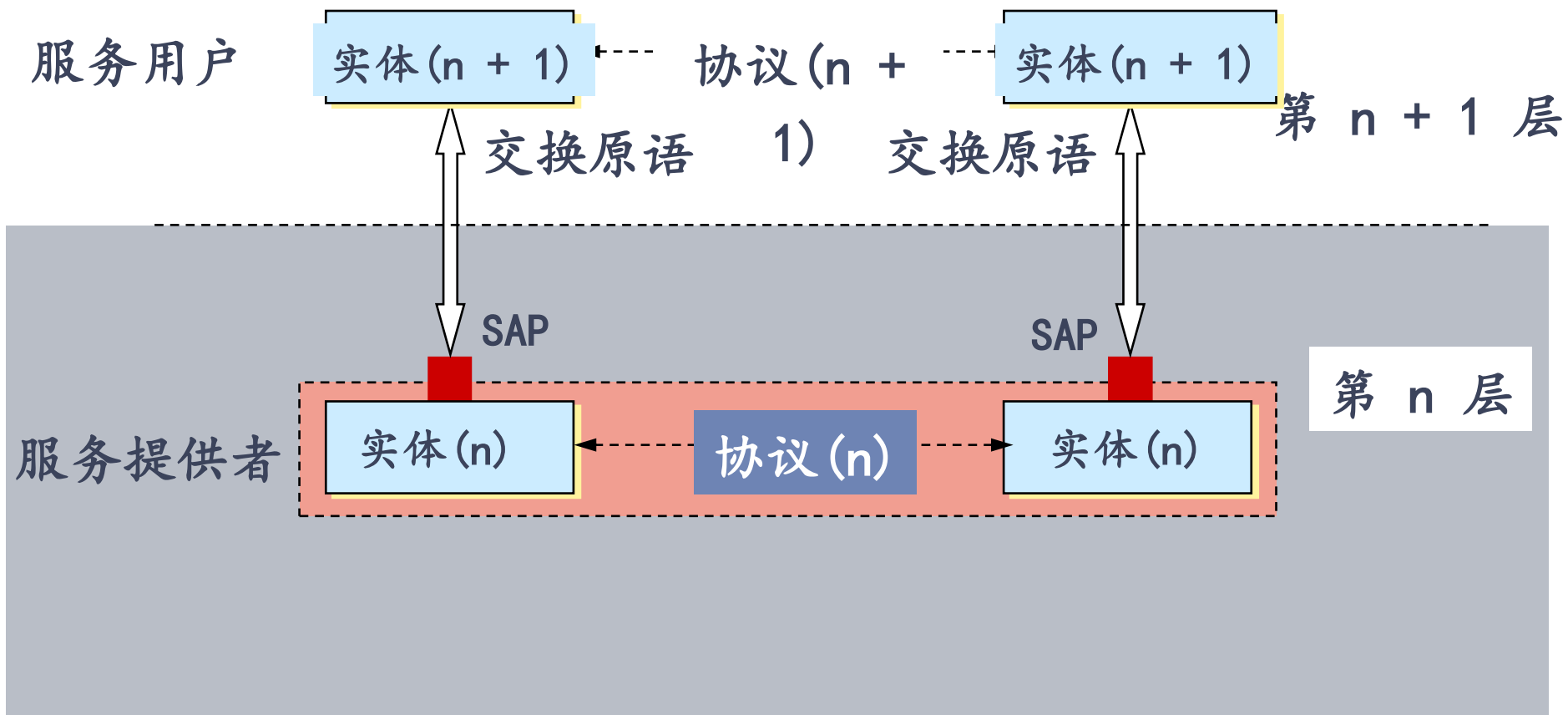
- SDU: service data unit
- PDU: protocol data unit
- PCI: protocol control info

## 数据单元的关系

- N层的PDU = N层的SDU + N层的PCI
- N层的SDU = N+1层的PDU



# 实体、协议、服务和访问点



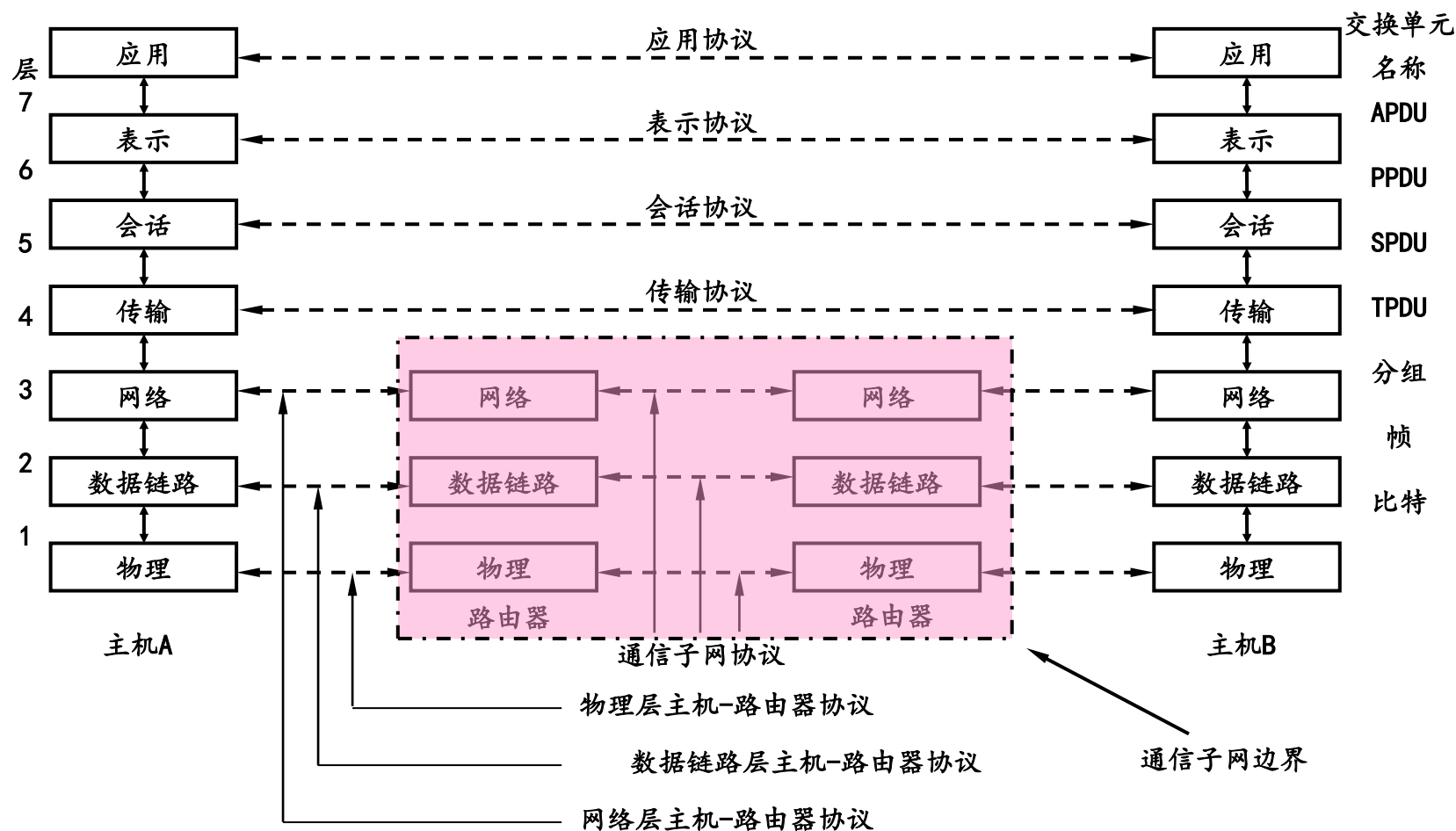


# 1.4 参考模型

---

- 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）

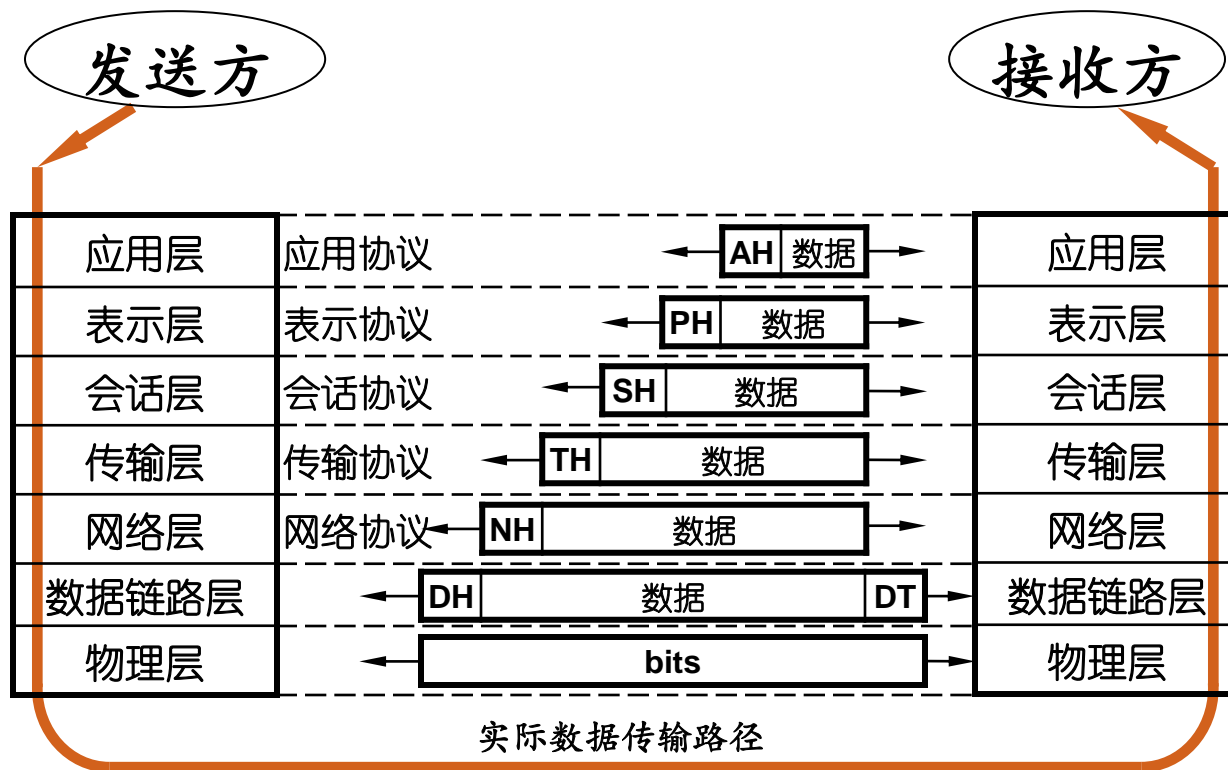
---

- 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

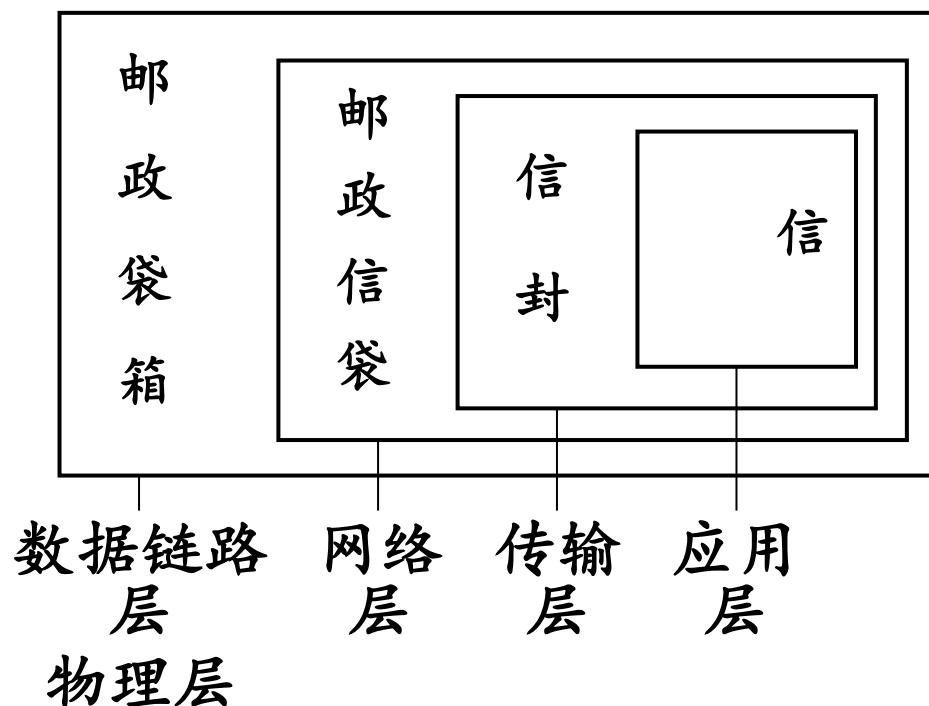
- 常见的包括HTTP，FTP等

# OSI模型的数据传输



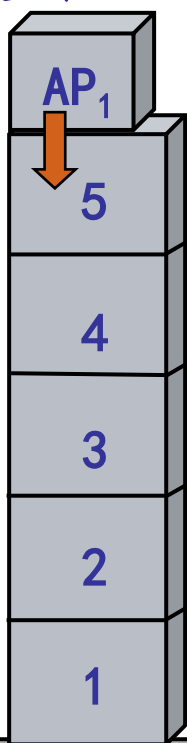
# 举例：某人给他的朋友写一封信

---



# 主机 1 向主机 2 发送数据

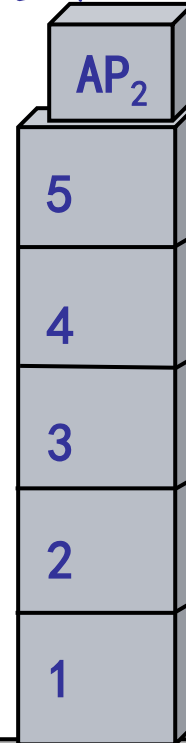
主机 1



应用进程数据先传送到应用层

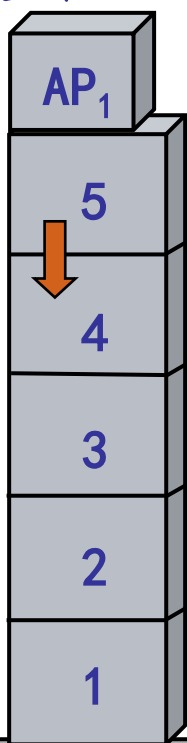
加上应用层首部，成为应用层 PDU

主机 2



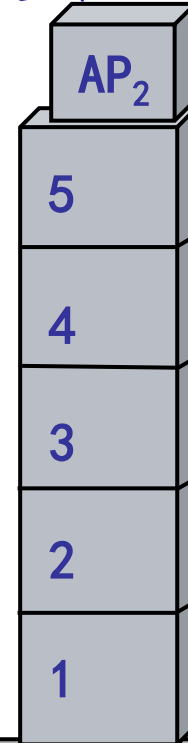
# 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



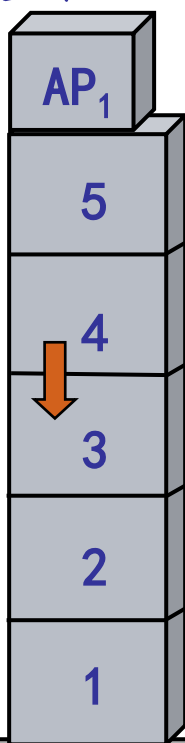
应用层 PDU 再传送到传输层  
加上传输层首部，成为传输层报文

主机 2



# 主机 1 向主机 2 发送数据

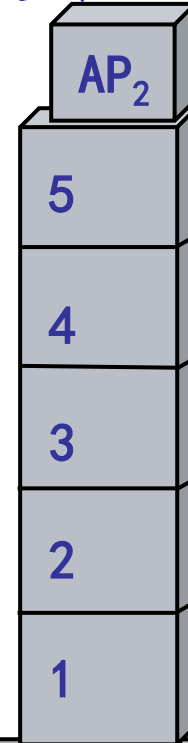
主机 1



传输层报文再传送到网络层

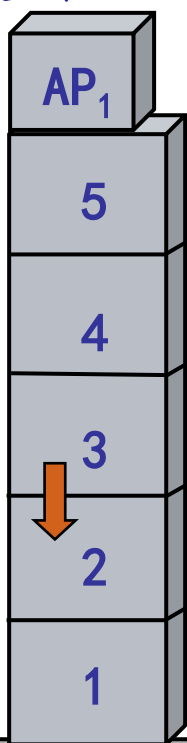
加上网络层首部，成为 IP 数据报（或分组）

主机 2



# 主机 1 向主机 2 发送数据

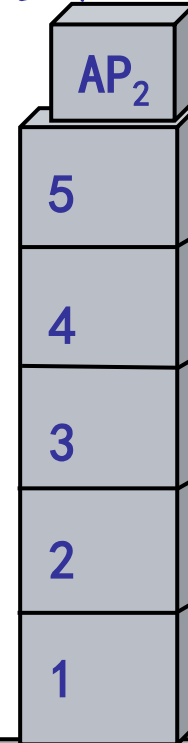
主机 1



IP 数据报再传送到数据链路层

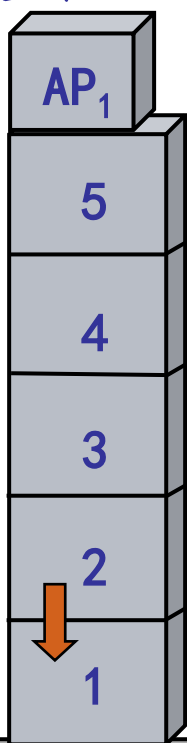
加上链路层首部和尾部，成为数据链路层帧

主机 2



# 主机 1 向主机 2 发送数据

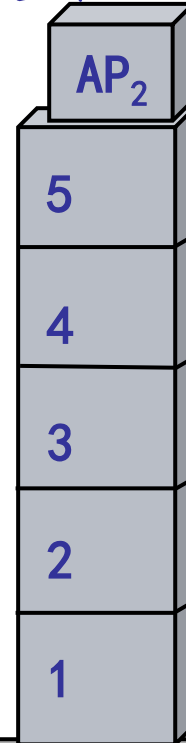
主机 1



数据链路层帧再传送到物理层

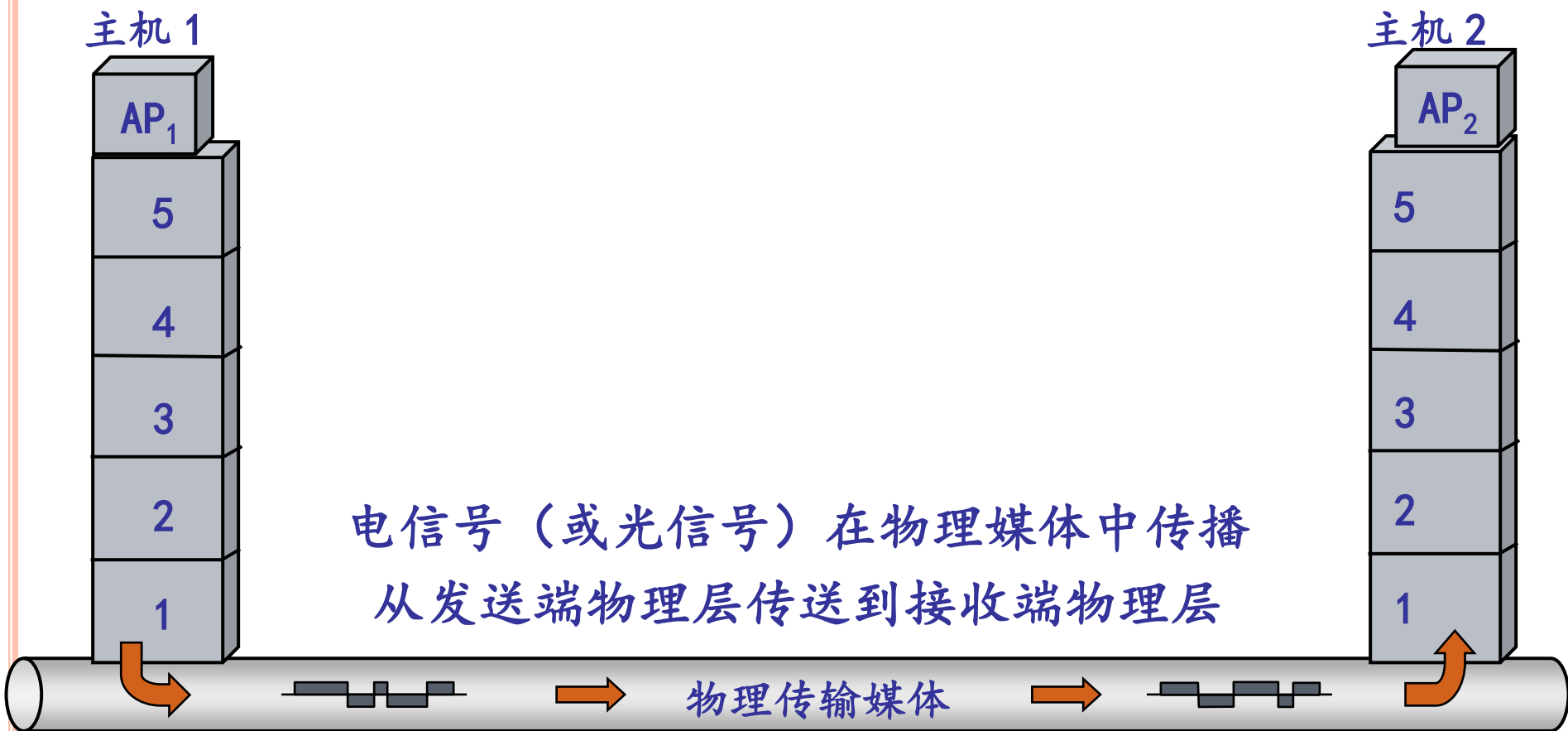
最下面的物理层把比特流传送到物理媒体

主机 2



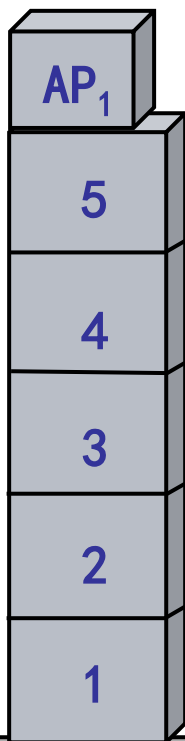


# 主机 1 向主机 2 发送数据

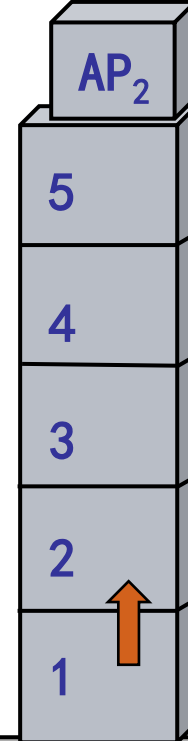


# 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



主机 2

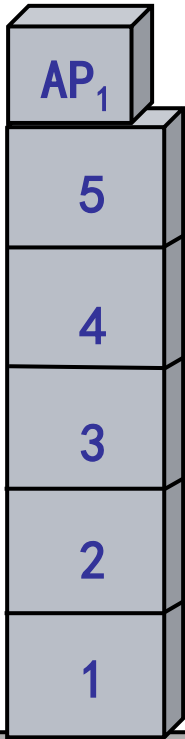


物理层接收到比特流，上交给数据链路层

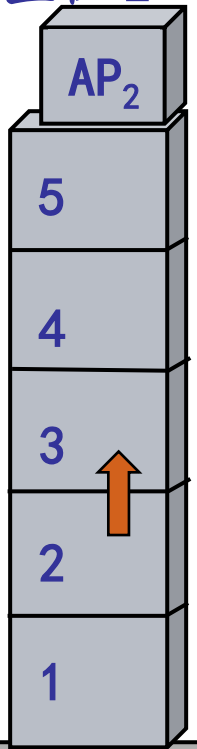


# 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



主机 2

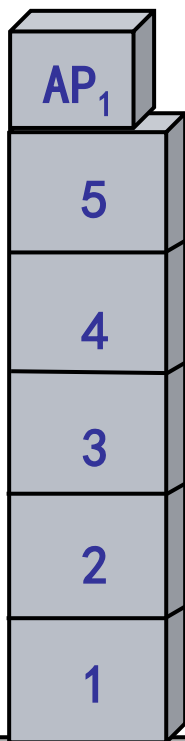


数据链路层剥去帧首部和帧尾部  
取出数据部分，上交给网络层

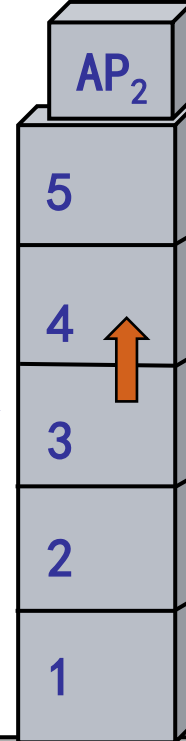


# 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



主机 2

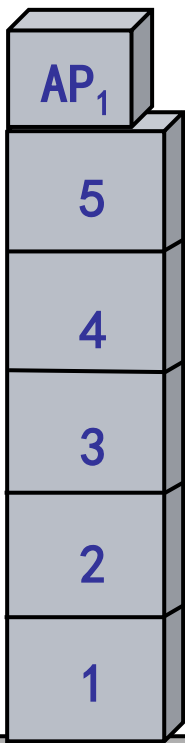


网络层剥去首部，取出数据部分  
上交给传输层

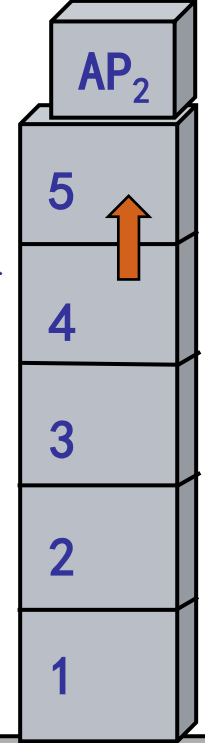


# 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



主机 2

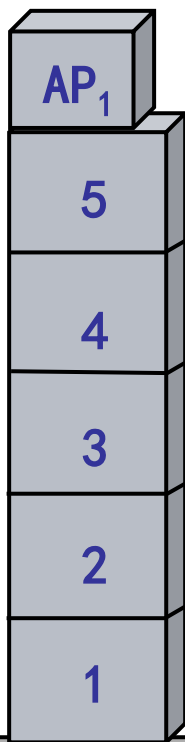


传输层剥去首部，取出数据部分  
上交给应用层



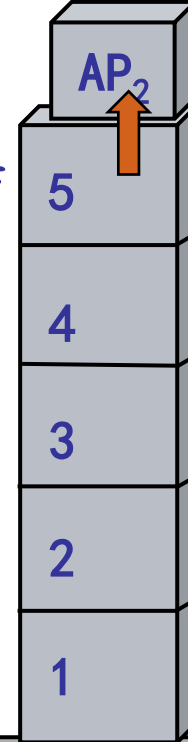
# 主机 1 向主机 2 发送数据

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

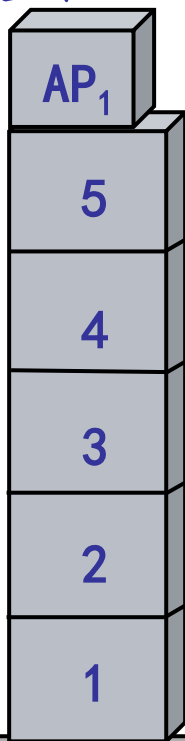
主机 2



# 主机 1 向主机 2 发送数据

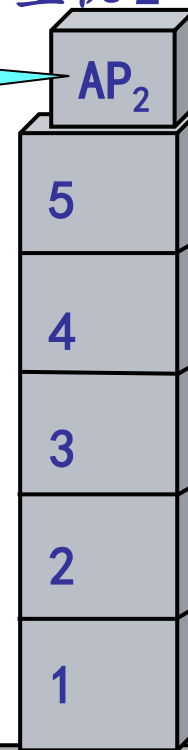
---

主机 1

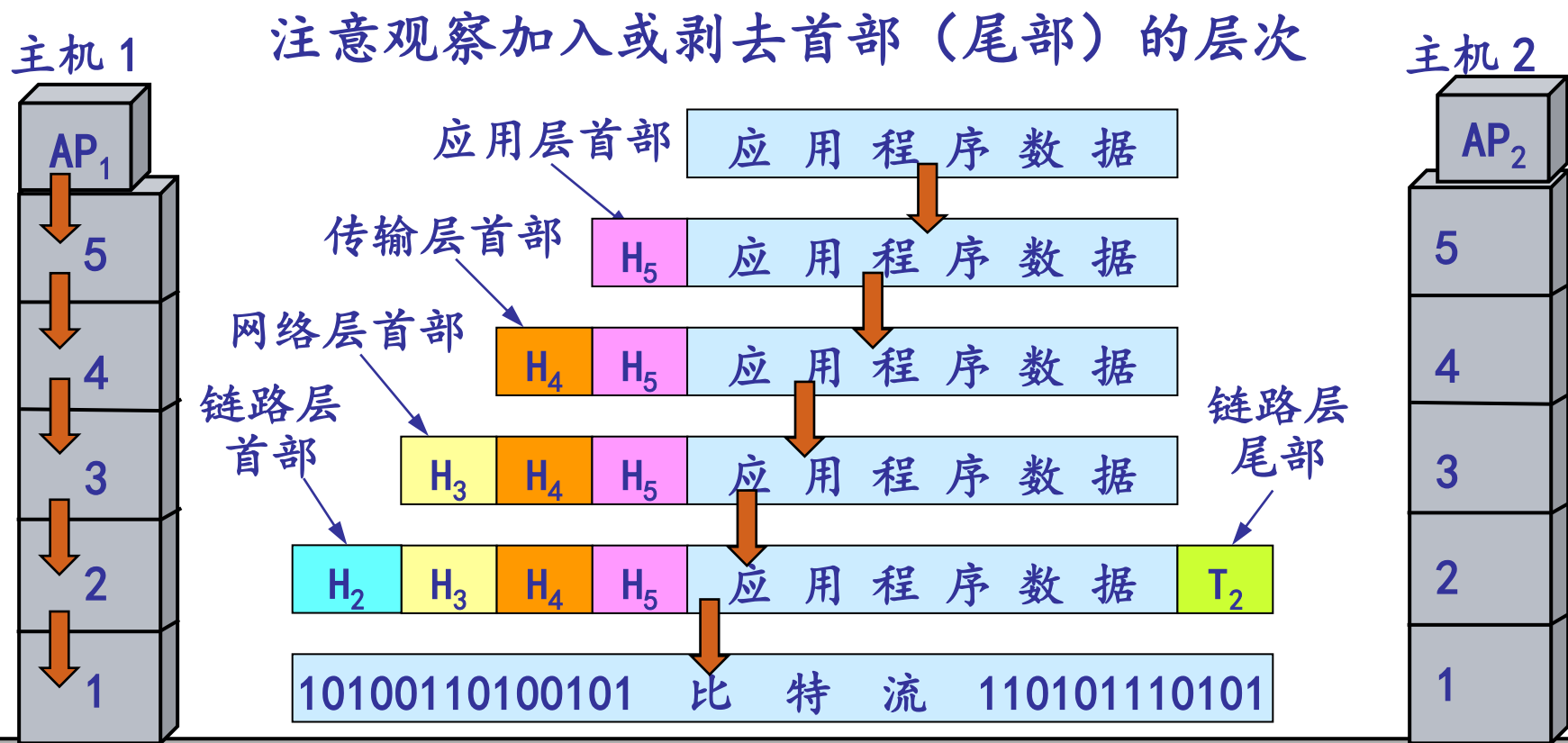


我收到了  $AP_1$  发来的  
应用程序数据!

主机 2



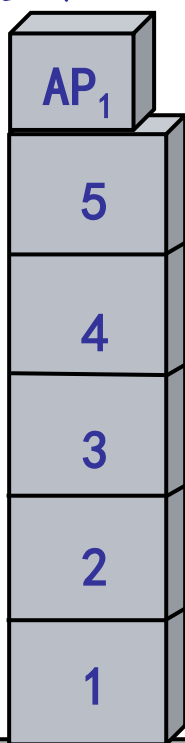
# 主机 1 向主机 2 发送数据



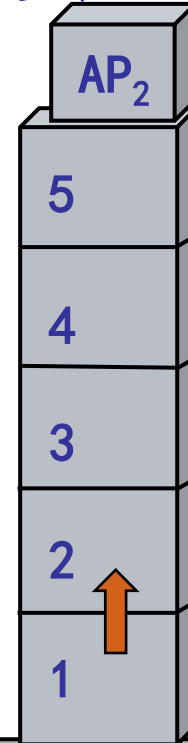


# 主机 1 向主机 2 发送数据

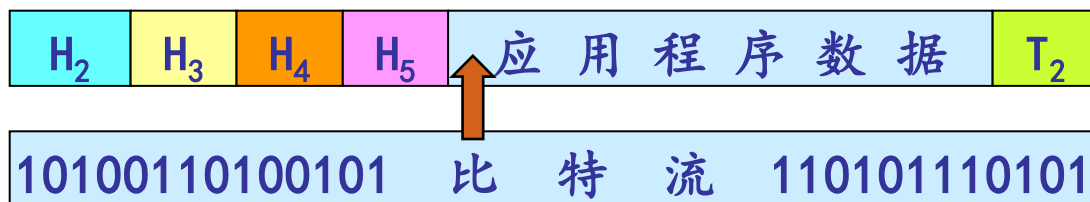
主机 1



主机 2

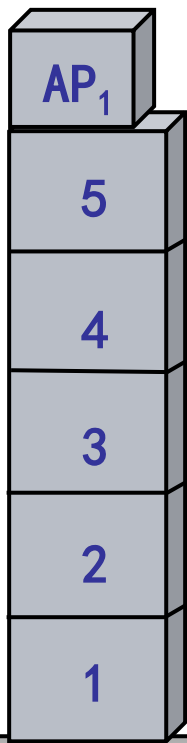


计算机 2 的物理层收到比特流后  
交给数据链路层

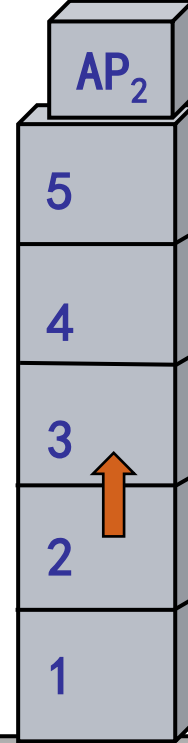


# 主机 1 向主机 2 发送数据

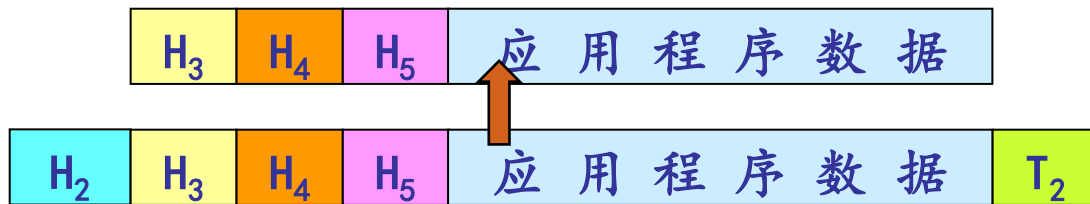
主机 1



主机 2

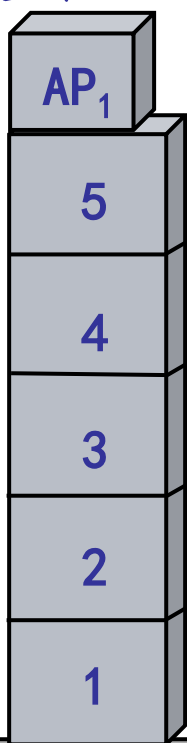


数据链路层剥去帧首部和帧尾部后  
把帧的数据部分交给网络层

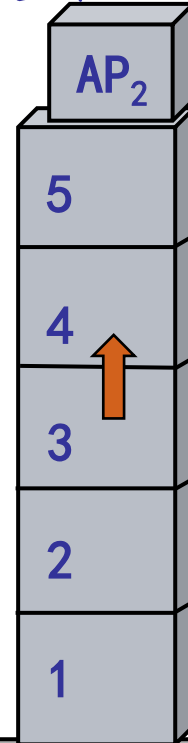


# 主机 1 向主机 2 发送数据

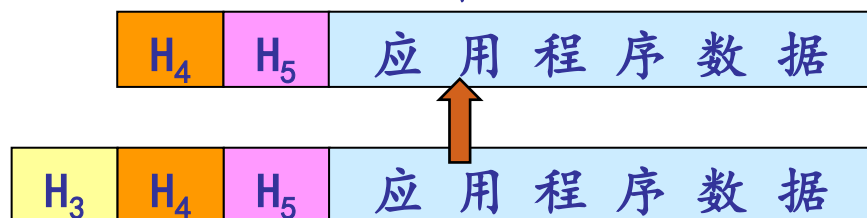
主机 1



主机 2

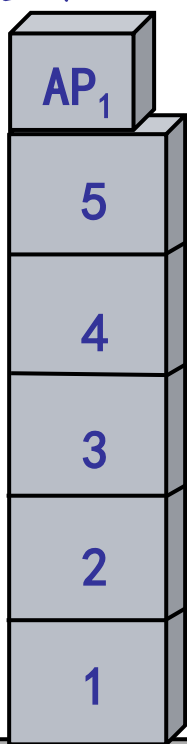


网络层剥去分组首部后  
把分组的数据部分交给传输层

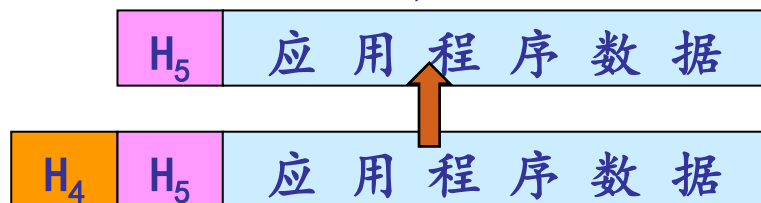


# 主机 1 向主机 2 发送数据

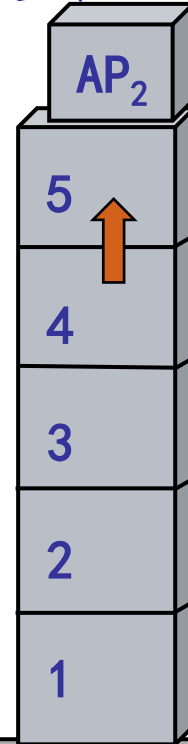
主机 1



传输层剥去报文首部后  
把报文的数据部分交给应用层

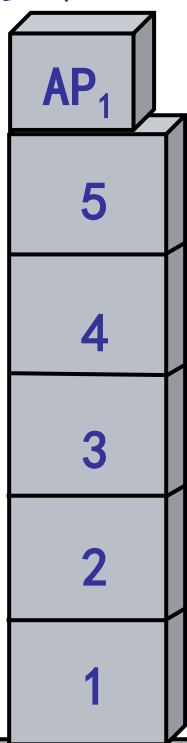


主机 2

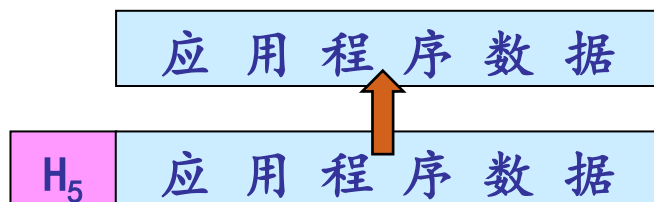
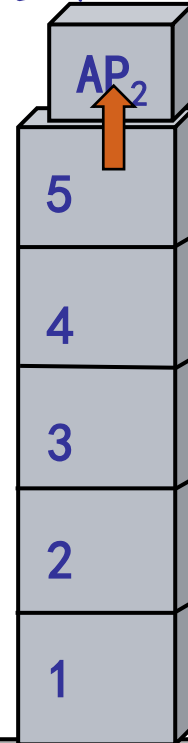


# 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



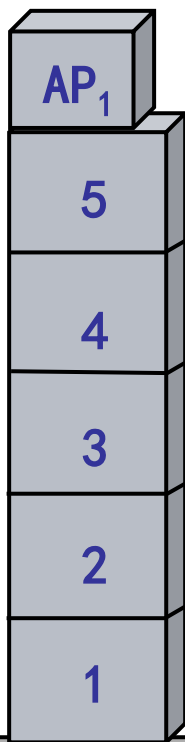
主机 2



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

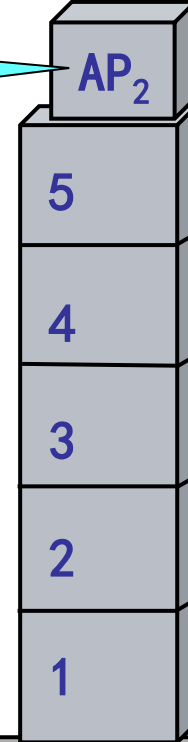
# 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



我收到了  $AP_1$  发来的  
应用程序数据!

主机 2

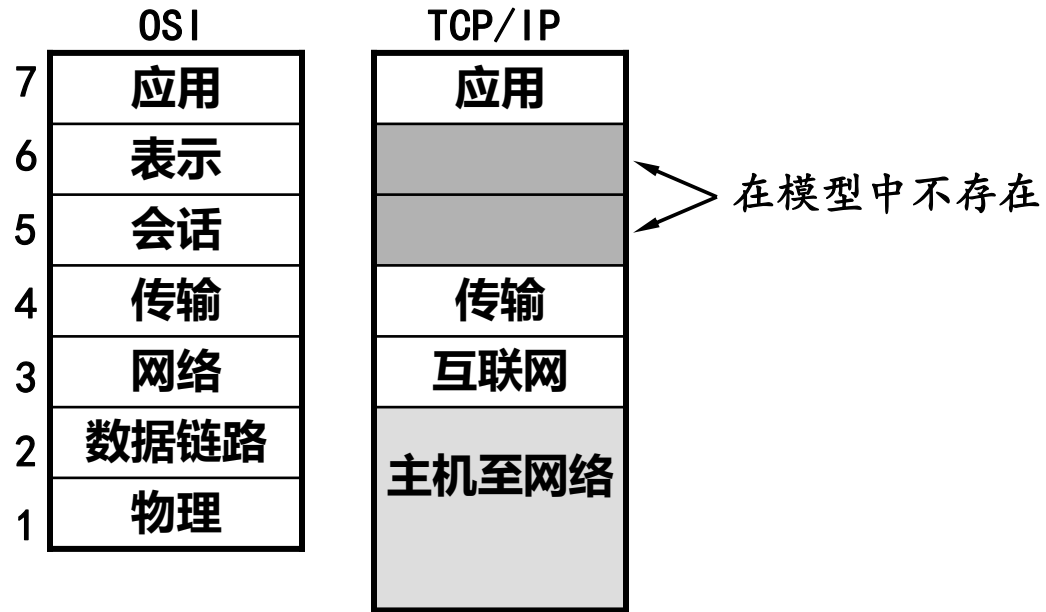


# 1.4参考模型

---

- 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

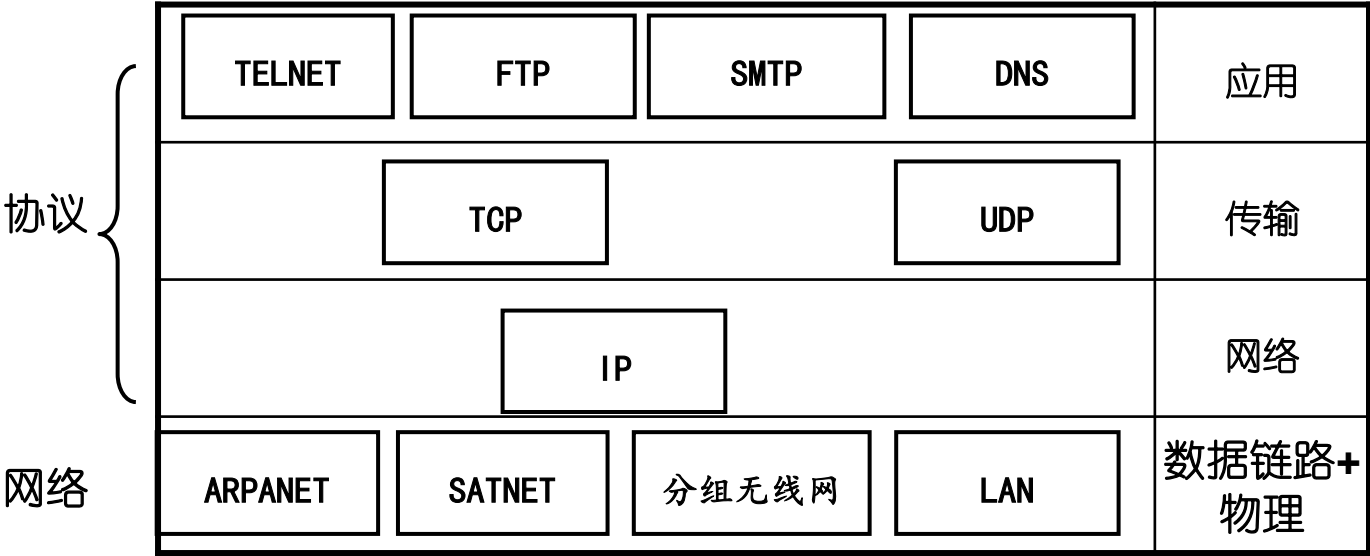
# 主机至网络层

---

- 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... ..**

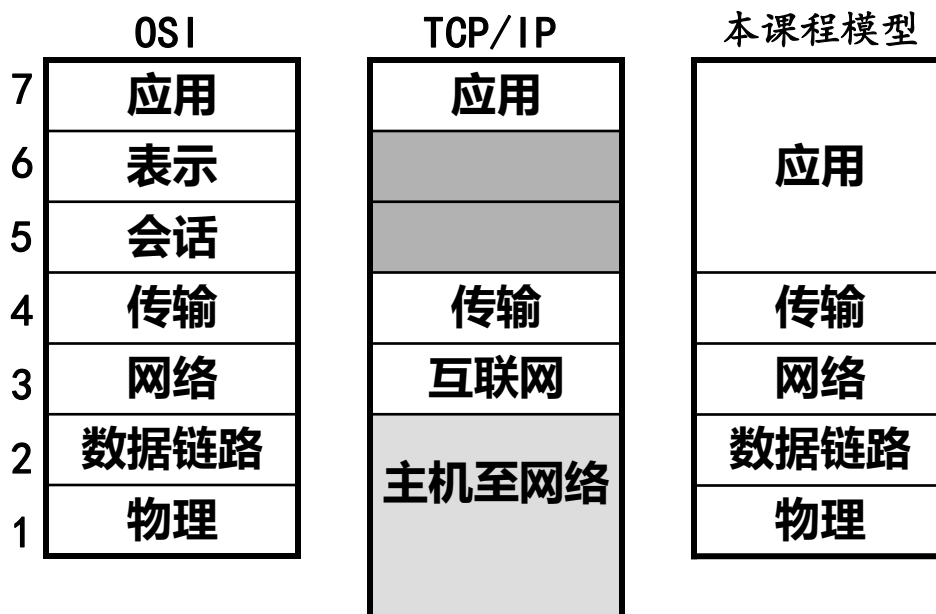
## 1.4参考模型

---

- 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



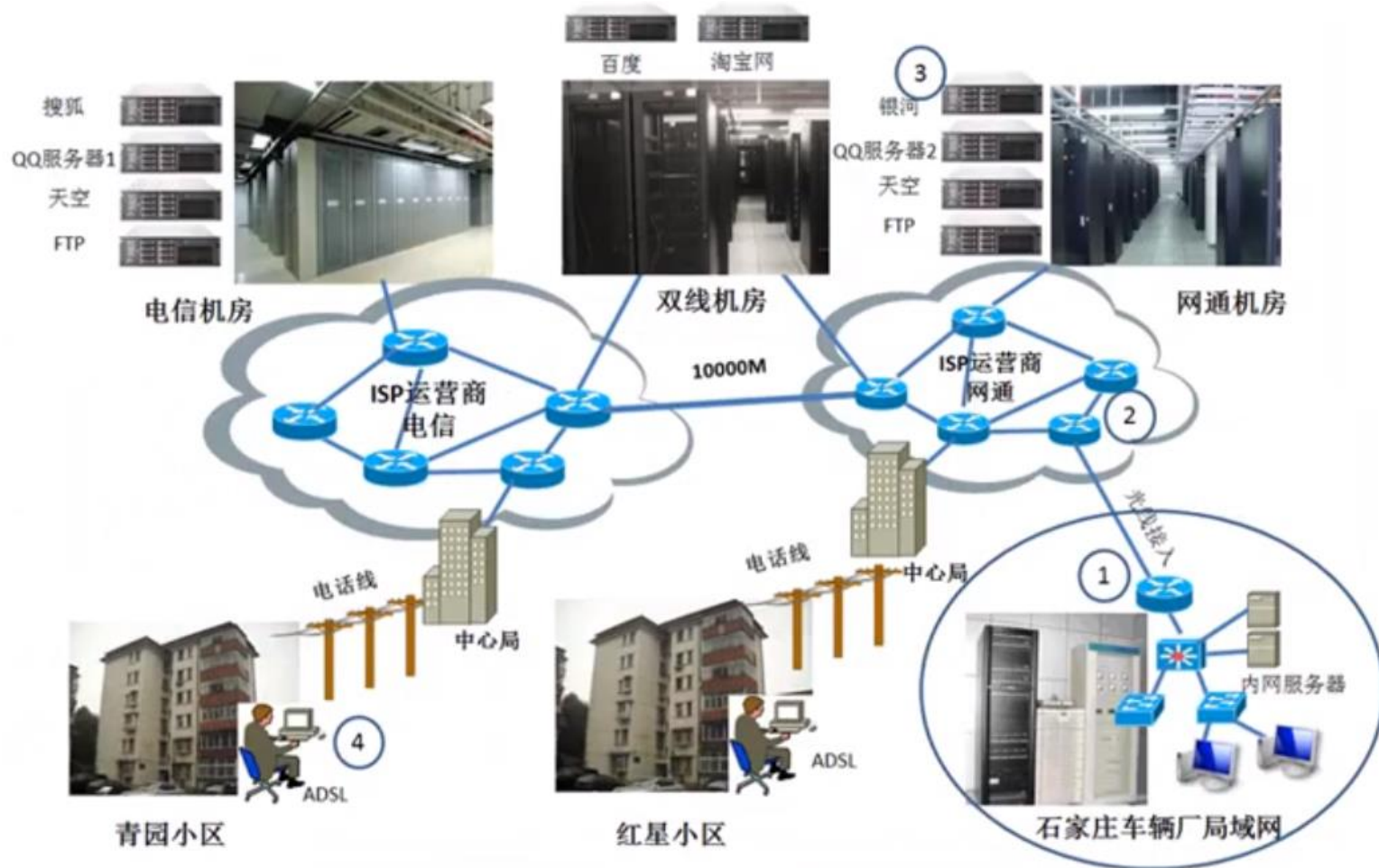


# OSI模型的失败

---

- 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。

## 案例讲解



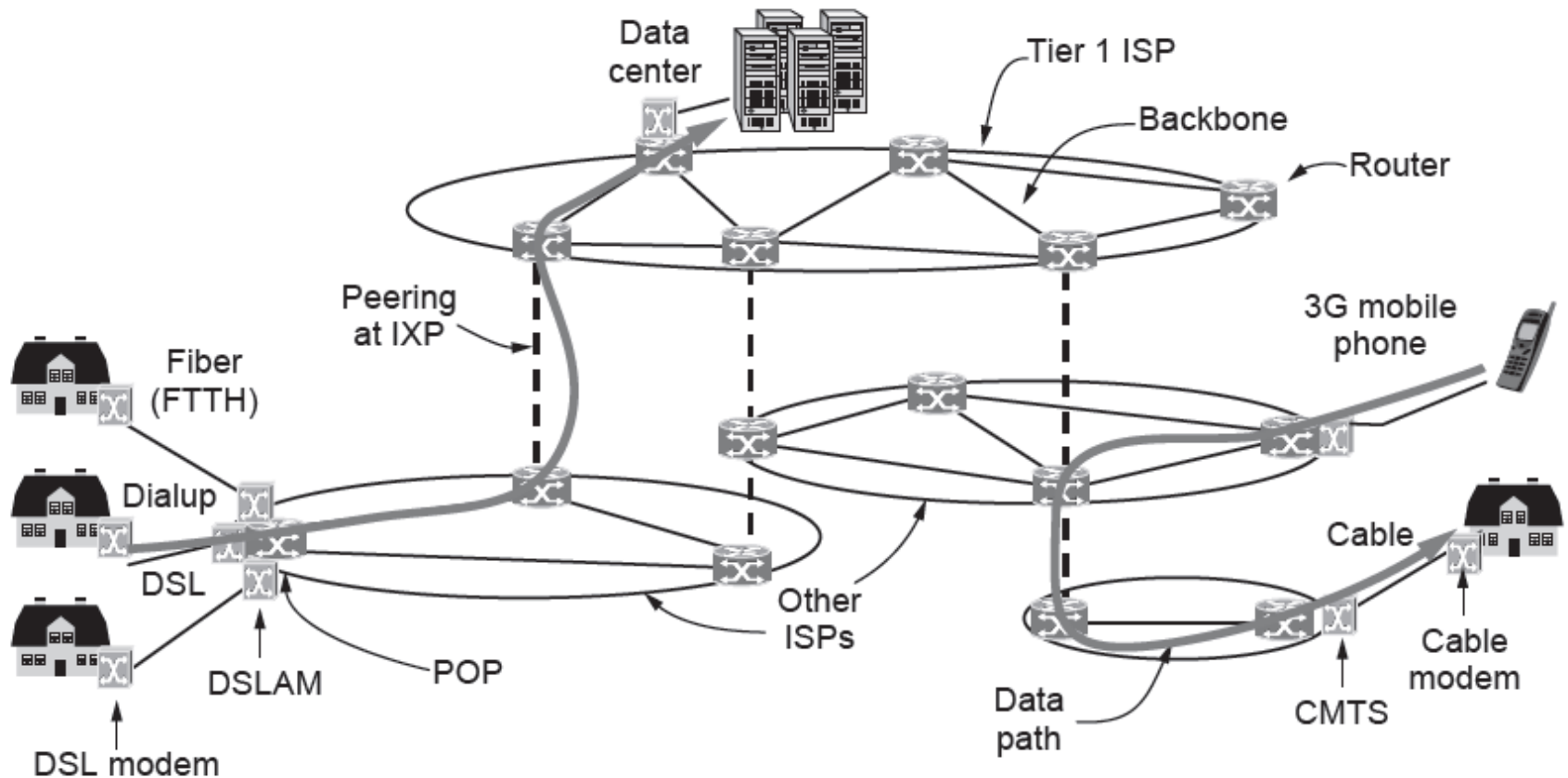
# 1.5 网络实例

---

- 因特网
- 第三代移动电话网络
- 无线局域网
- **RFID**和传感器网络

# 1.5.1 因特网

## Internet 体系结构概貌



# 宽带接入技术

---

- 从宽带接入的媒体来看，可以划分为两大类：
  - 有线宽带接入
  - 无线宽带接入
- 主要讨论有线宽带接入

有线宽带接入：

重用已有的基础设施，采用频分复用技术

1) 电话线

2) 有线电视电缆（光纤同轴混合网）

# ADSL 技术

---

非对称数字用户线 **ADSL** (Asymmetric Digital Subscriber Line):

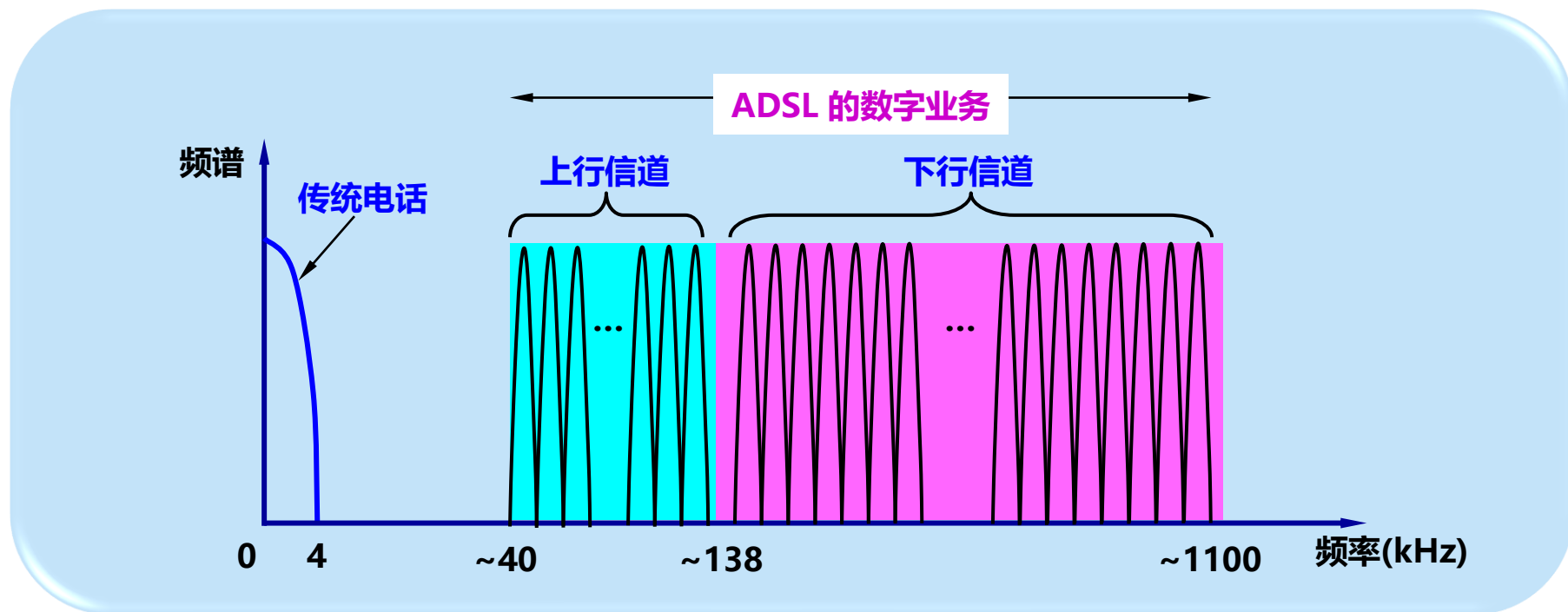
- 采用数字技术对现有的模拟电话用户线进行改造，使它能够承载宽带业务。 (上行信道少于下行信道数目)
- 标准模拟电话信号的频带被限制在 300~3400 Hz 的范围内，但用户线本身实际可通过的信号频率仍然超过 1 MHz。
- ADSL 技术就把 0~4 kHz 低端频谱留给传统电话使用，而把原来没有被利用的高端频谱留给用户上网使用。

# ADSL 的特点

---

- 上行和下行带宽做成**不对称的**
- 上行指从用户到 ISP，而下行指从 ISP 到用户
- ADSL 在**用户线（铜线）**两端各安装一个**ADSL 调制解调器**
- 我国目前采用的方案是**离散多音调 DMT (Discrete Multi-Tone)**调制技术
- DMT 调制技术采用**频分复用**的方法，把 40 kHz 以上一直到 1.1 MHz 的高端频谱划分为许多子信道，其中**25 个子信道**用于上行信道，而**249 个子信道**用于下行信道

# DMT技术的频谱分布



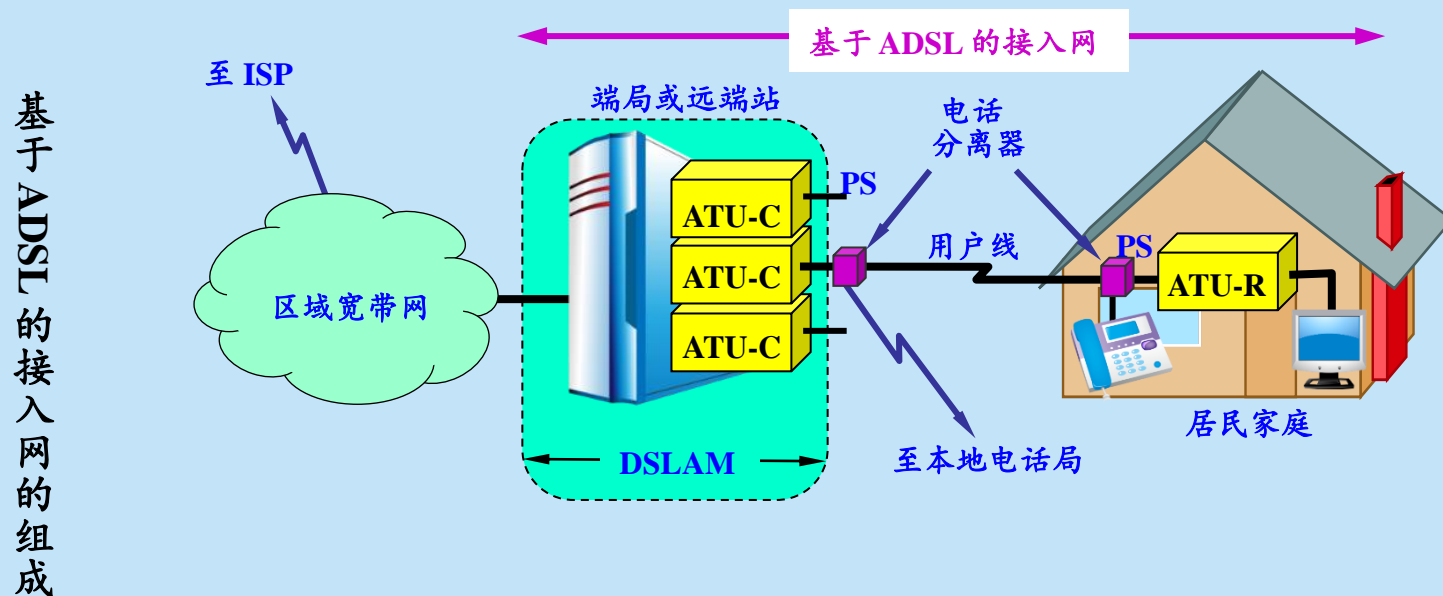
0—4KHz： 传统电话

40KHz—138KHz： 上行信道

138KHz—1100KHz： 下行信道(下行信道数 > 上行信道， 非对称)



# ADSL 的组成



**DSLAM (DSL Access Multiplexer)：**数字用户线接入复用器

**ATU (Access Termination Unit)：**接入端接单元

**ATU-C (C 代表端局 Central Office)：**ATU-R (R 代表远端 Remote)

**PS (POTS Splitter)：**电话分离器

# 光纤同轴混合网(HFC网)

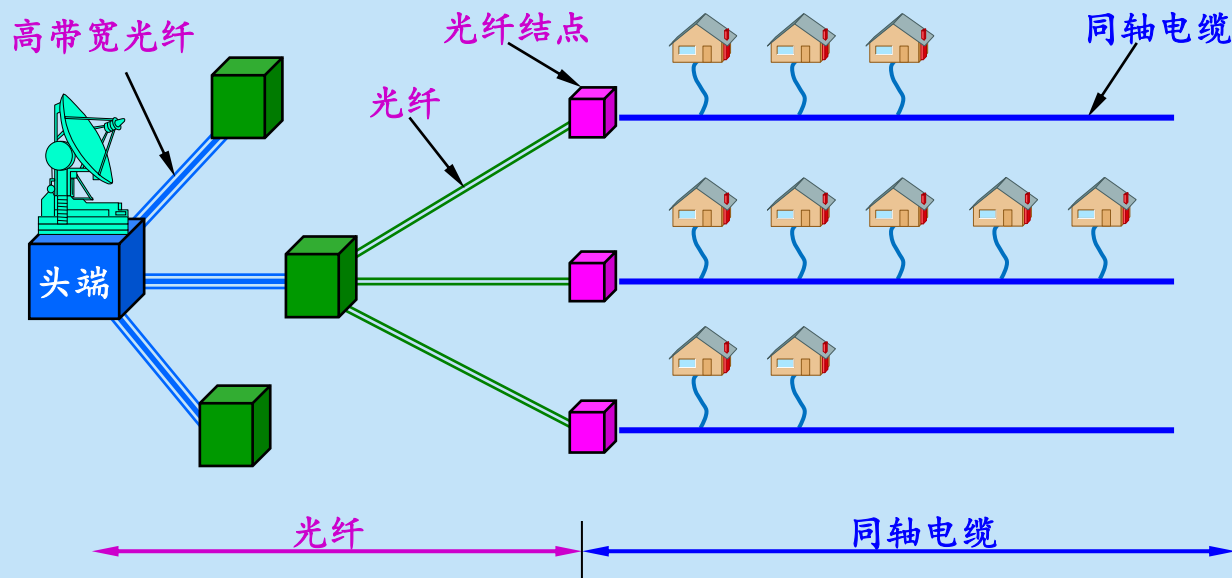
---

## HFC (Hybrid Fiber Coax) 网络：

- 目前覆盖面很广的有线电视网 CATV 的基础上开发的一种居民宽带接入网。
- HFC 网除可传送 CATV 外，还提供电话、数据和其他宽带交互型业务。
- 现有的 CATV 网是树形拓扑结构的同轴电缆网络，它采用模拟技术的频分复用对电视节目进行单向传输。
- HFC 网对 CATV 网进行了改造。

# HFC网的体系结构

HFC网的结构图



- HFC 网将原 CATV 网中的同轴电缆主干部分改换为光纤，并使用模拟光纤技术。
- 在光纤结点处：光信号被转换为电信号。

# 我国HFC网的频谱划分



每个家庭要安装一个用户接口盒（UIB）：

- 使用同轴电缆连接到机顶盒，然后再连接到用户的电视机
- 使用双绞线连接到用户的电话机
- 使用电缆调制解调器连接到用户的计算机

# FTTx技术

---

## ● FTTx :

- 是一种实现宽带居民接入网的方案,
- 代表多种宽带光纤接入方式。
- 表示 Fiber To The... (光纤到...)

- 光纤到户 **FTTH** (Fiber To The Home): 光纤一直铺设到用户家庭, 可能是居民接入网最后的解决方法
- 光纤到大楼 **FTTB** (Fiber To The Building): 光纤进入大楼后就转换为电信号, 然后用电缆或双绞线分配到各用户
- 光纤到路边 **FTTC** (Fiber To The Curb): 光纤铺到路边, 从路边到各用户可使用星形结构双绞线作为传输媒体

## 1.5.2 第三代移动电话网络

### ○ 现状：

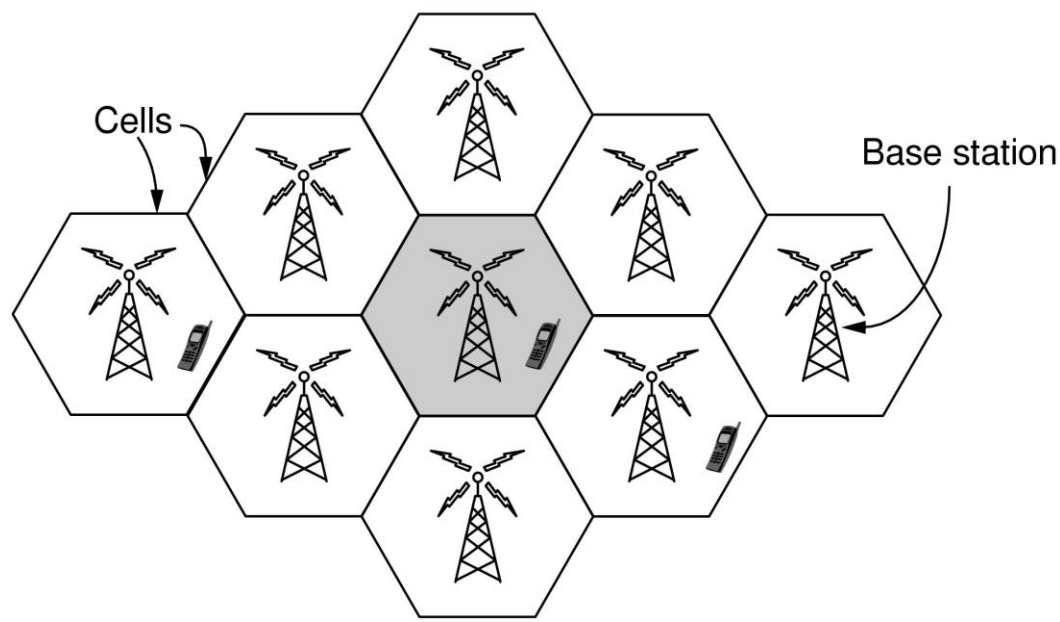
- 无线电频谱资源的稀缺 → 蜂窝网络的设计

### ○ 设计原则：

- 每个蜂窝内：为每个蜂窝分配互不干扰的信道
- 蜂窝之间：相邻蜂窝的信道不能干扰太大

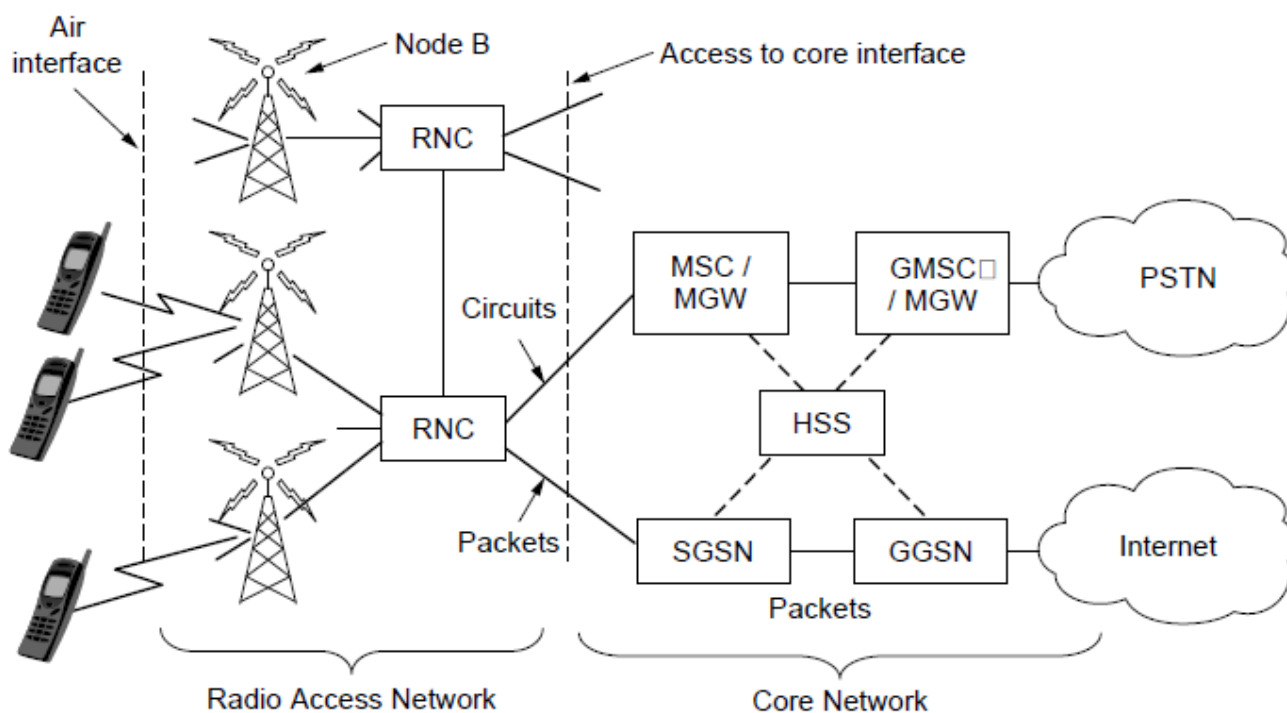
### ○ 优势：

- 频率复用
- 增加了整个网络的容量



# 3G移动电话网络体系结构

- **Air interface(空中接口):** 移动电话和基站的空中通信协议
- **RNC (无线网络控制器):** 控制如何使用无线电频谱
- **Core Network(核心网络):** 负责运载无线接入网络的流量



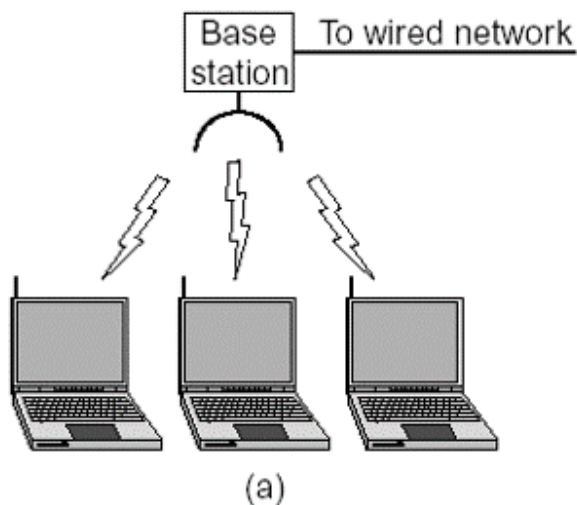
## 1.5.3 无线局域网：802.11

### ○ 基础架构无线局域网：

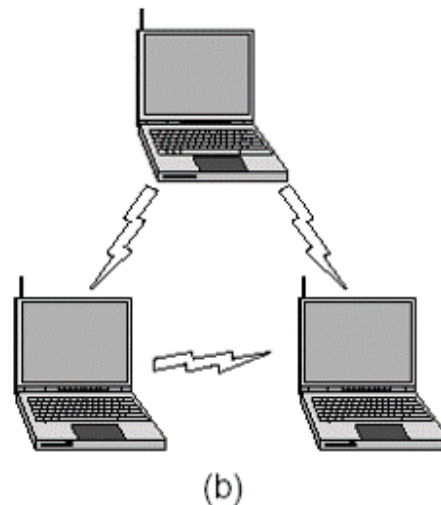
- 客户端通过连接到AP（接入点）进行通信
- AP连接到有线网络

### ○ 自组织网络：

- 客户端可以在同一无线电范围内直接通信(使用较少)



有一个接入点的无线网络

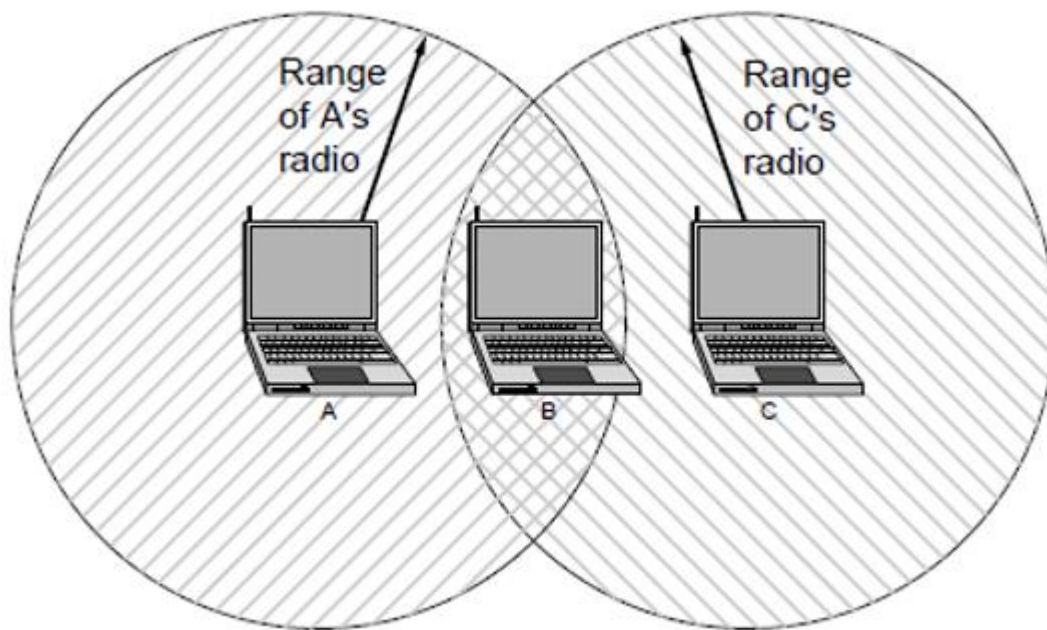


自组织网络



# 无线局域网

- 广播网络
- 需要处理多个传输同时进行发生而导致的冲突问题
- 采用载波侦听多路访问(CSMA)技术



一个无线电的传输范围不能覆盖整个系统

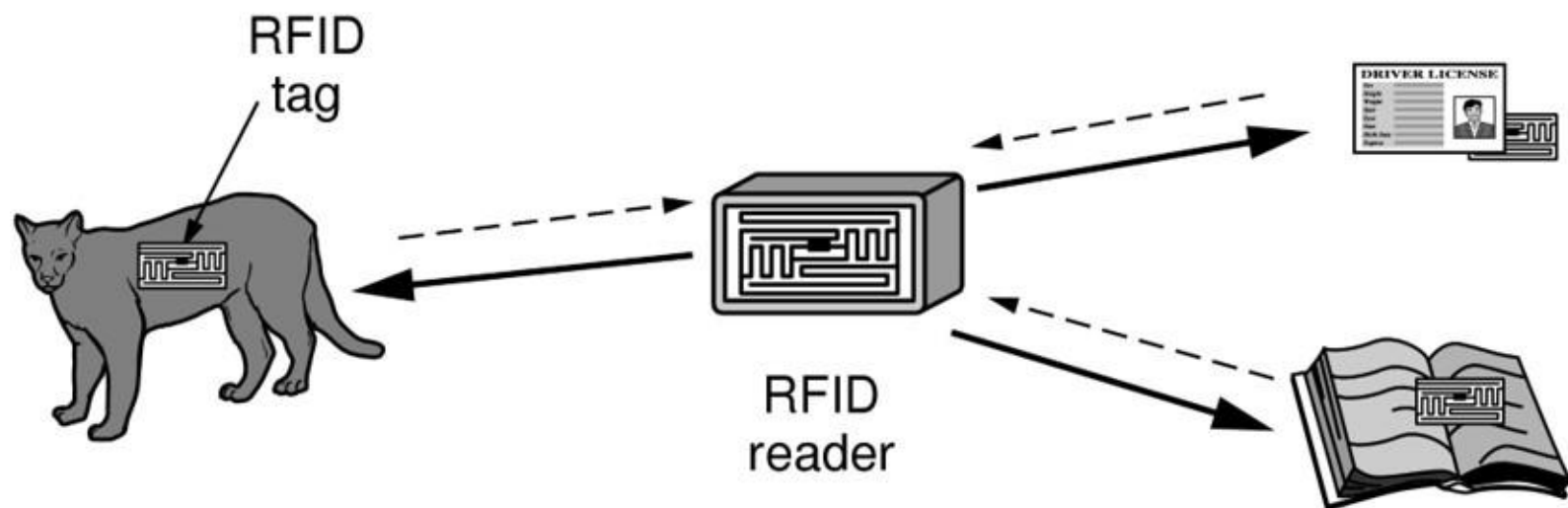
## 1.5.4 RFID 和传感器网络

### ○ RFID(无线射频识别) 技术:

- 使得日常物品成为计算机网络的一部分

### ○ RFID标签:

- 带有唯一标识符的小芯片
- 接收无线电传输的天线



RFID可用来联网日常物品

## 1.5.4 RFID 分类

---

### ○ 根据RFID 标签是否有电源：

- 无源RFID：采用无线电波的形式
- 有源RFID：标签上有电源

### ○ 根据频率分类：

- 超高频RFID
- 高频RFID
- 低频RFID

## 1.6 网络标准

---

- 使不同的计算机可以相互间进行通信
- 扩大遵循相应标准的产品市场
- 大的市场促进制造业规模经济的发展
- 提高用户的接受程度

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 度量单位

## ○ 主要的度量前缀

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

## 1.8 计算机网络的性能指标

计算机网络的性能一般是指它的几个重要的性能指标，主要包括：

- 速率
- 带宽
- 吞吐率
- 时延
- 时延带宽积
- 往返时间 RTT
- 利用率



# 速率

---

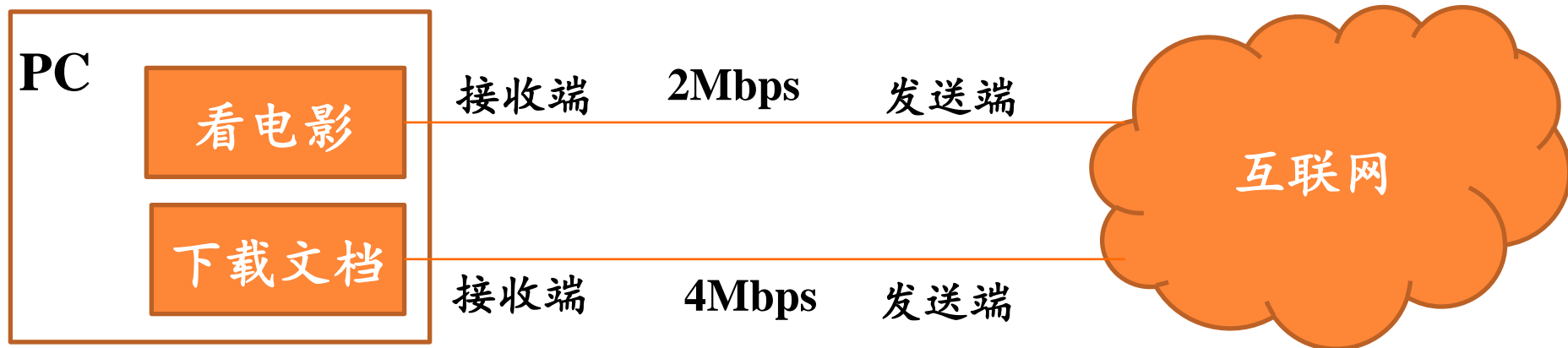
## ● 比特 (bit) :

- 计算机中数据量的单位，也是信息论中使用信息量的单位
- 来源于 binary digit，意思是一个“二进制数字”
- 一个比特就是二进制数字中的一个 1 或 0。

## ● 速率:

- 是计算机网络中最重要的一個性能指标，数据的传送速率
- 额定速率或标称速率，非实际运行速率
- 单位: bit/s，或 kbit/s、Mbit/s、Gbit/s等。
- 连接在计算机网络上的主机在数字信道上传送数据位数的速率

# 速率



## 1) 速率:

看电影: 属于一个信道, 速率为2Mbps; 下载文档: 属于另一个信道, 速率为4Mbps

速率是指某一个数字信道上的传输速度, 不能说上图中PC的上网信道速率为6Mbps (2+4)

2) 带宽: 所有数字信道中最高的传输速率

3) 吞吐量: 上图中单位时间内通过PC网卡的数据量 =  $2\text{Mbps} + 4\text{Mbps} = 6\text{Mbps}$  (网卡的吞吐量)



# 带宽

---

两种不同意义：

- “带宽” (bandwidth) 本来是指信号具有的**频带宽度**，其单位是赫（或千赫、兆赫、吉赫等）。
- 在计算机网络中，带宽用来表示网络中某通道传送数据的能力。表示在单位时间内网络中的某信道所能通过的“**最高数据率**”。单位是 bit/s，即“比特每秒”。

在“带宽”的上述两种表述中，前者为**频域**称谓，而后者为**时域**称谓，其本质是相同的。也就是说，一条通信链路的“带宽”越宽，其所能传输的“最高数据率”也越高。

# 吞吐量

---

- 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。
- 吞吐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。
- 吞吐量受网络的带宽或网络的额定速率的限制。

# 时延

---

- 时延 (delay 或 latency) 是指数据（一个报文或分组，甚至比特）从网络（或链路）的一端传送到另一端所需的时间。
- 有时也称为延迟或迟延。
- 网络中的时延由以下几个不同的部分组成：
  - ① 发送时延
  - ② 传播时延
  - ③ 排队时延
  - ④ 处理时延

# 传输时延 (发送时延)

- 也称为传输时延。
- 发送数据时，数据帧从结点进入到传输媒体所需要的时间。
- 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。

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

本身网卡发送整个数据帧的时间，整个数据帧离开网卡的时间  
此时的发送速率可以看做是网卡的带宽

# 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。
- 发送时延与传播时延有本质上的不同。
- 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。

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

# 处理时延-排队时延

---

## ③ 处理时延

- 主机或路由器在收到分组时，为处理分组（例如分析首部、提取数据、差错检验或查找路由）所花费的时间。

## ④ 排队时延

- 分组在路由器输入输出队列中排队等待处理所经历的时延。
- 排队时延的长短往往取决于网络中当时的通信量。

# 总时延

数据在网络中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。

$$\begin{aligned}\text{总时延} = & \text{发送时延} \\ & + \text{传播时延} \\ & + \text{处理时延} \\ & + \text{排队时延}\end{aligned}$$

必须指出，在总时延中，究竟是哪一种时延占主导地位，必须具体分析。

# 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。

以下说法是错误的：

“在高速链路（或高带宽链路）上，比特会传送得更快些”。

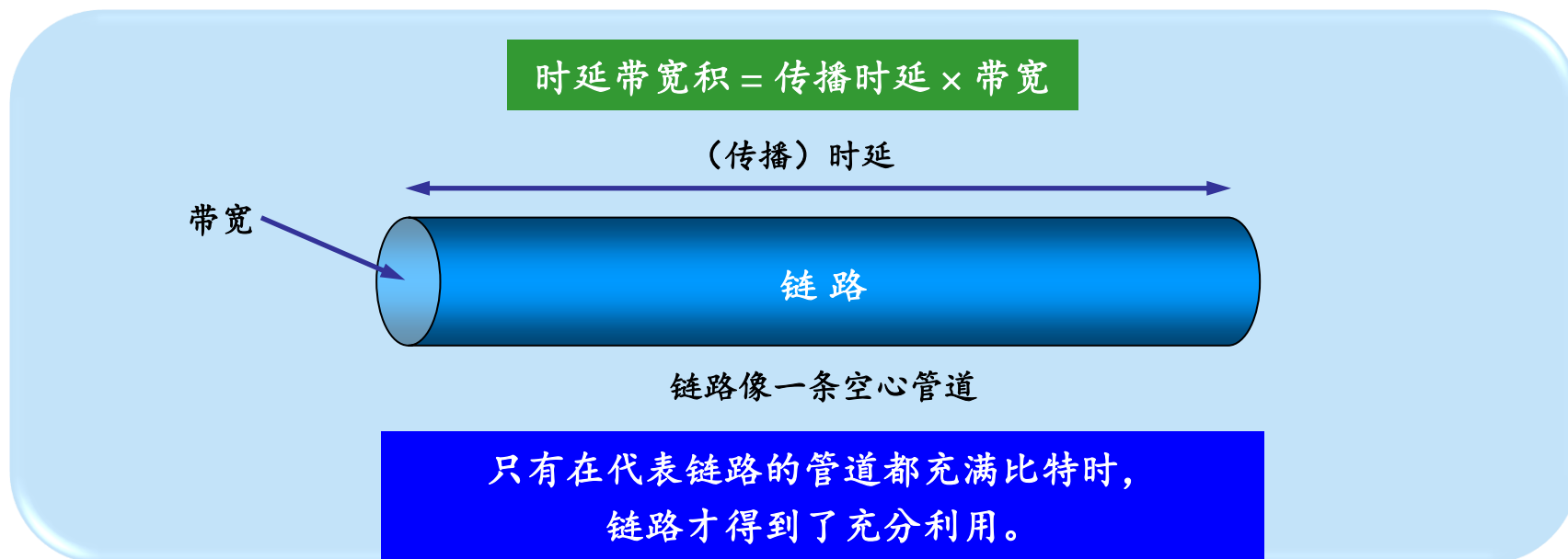
传播时延中的传播速率的单位是 m/s，和带宽（bps）没有关系

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



# 时延带宽积

链路的时延带宽积又称为以比特为单位的链路长度。



该条数据链路上，所能承载的数据量

类比如：一条公路上，放满车辆后所能放的车辆总数

# 往返时间

---

- 互联网上的信息不仅仅单方向传输，而是双向交互的。因此，有时很需要知道双向交互一次所需的时间。
- 往返时间 **RTT** (round-trip time) 表示从发送方发送数据开始，到发送方收到来自接收方的确认，总共经历的时间。
- 在互联网中，往返时间还包括各中间结点的处理时延、排队时延以及转发数据时的发送时延。
- 当使用卫星通信时，往返时间 **RTT** 相对较长，是很重要的一个性能指标。

# 利用率

---

- 分为信道利用率和网络利用率。
- 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。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。

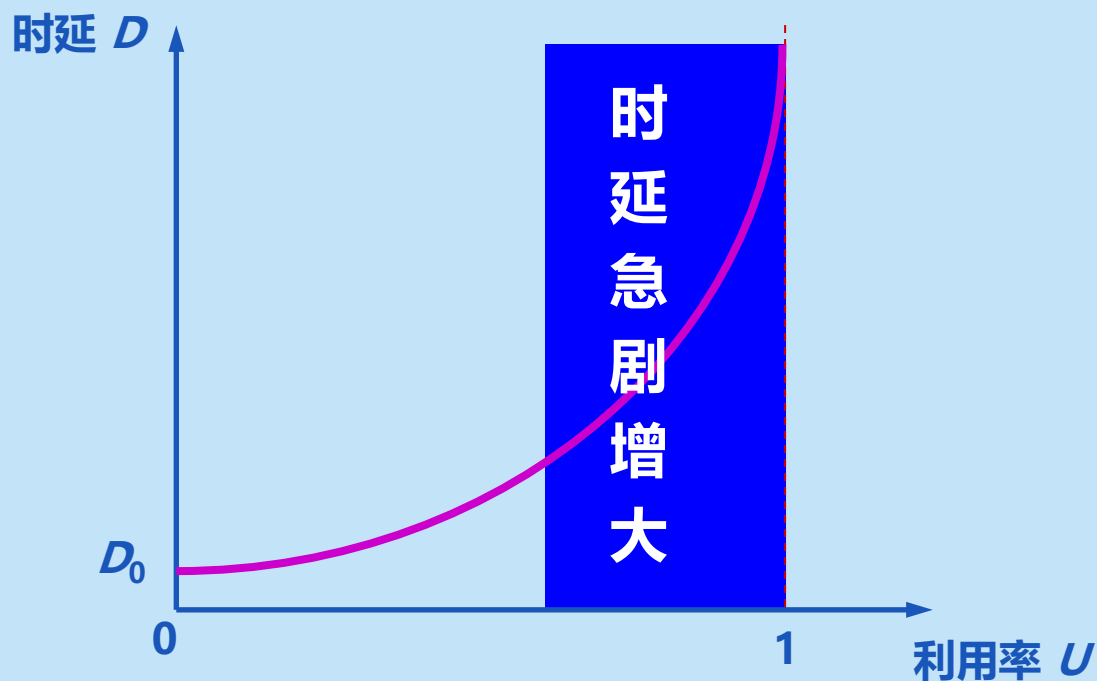
# 时延与网络利用率的关系

- 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。（利用率越大表示网络拥塞也越来越严重）
- 若令  $D_0$  表示网络空闲时的时延， $D$  表示网络当前的时延，则在适当的假定条件下，可以用下面的简单公式表示  $D$  和  $D_0$  之间的关系：

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

其中： $U$  是网络的利用率，数值在 0 到 1 之间。

# 时延与网络利用率的关系



当信道的利用率增大时，该信道引起的时延迅速增加。

# 计算机网络的非性能特征

一些非性能特征也很重要。它们与前面介绍的性能指标有很大的关系。主要包括：

- 费用
- 质量
- 标准化
- 可靠性
- 可扩展性和可升级性
- 易于管理和维护



# 本章小结

---

## 掌握：

计算机网络定义和分类

协议和服务的关系

OSI参考模型与TCP/IP参考模型

## 作业：

1, 4, 5, 9, 10, 12, 15, 23, 27, 28