



计算机网络

黄 波

E-mail: huangbo@njust.edu.cn

办公室: 计算机学院3026

办公时间: 周三 2-4 pm

课程QQ群: 258244140

学习目的与安排

- ✓ 计算机网络的原理与方法

- ✓ 理论讲解 (40学时, 第7-16周)
- ✓ 自学 (第8, 9章)
- ✓ 实验上机 (8学时, 第17周)
- ✓ 考试 (第18周)

考核方式

过程考核
20-30%

终结考核
70-80%

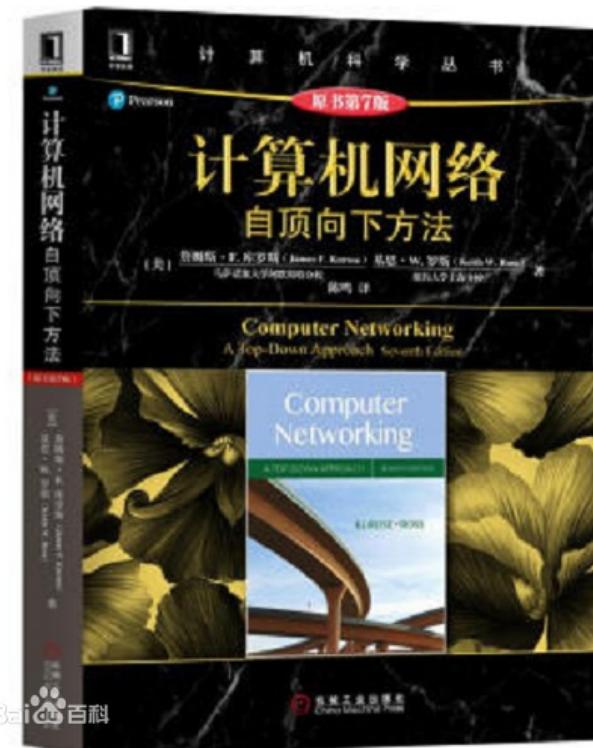
平时成绩（出勤+实验）

课堂作业

闭卷考试

教材

计算机网络
自顶向下方法 (第7版)
James F. Kurose
Keith W. Ross
陈鸣 译
机械工业出版社



课程特色

- 以因特网为研究对象
- 自顶向下方法
- 讲解基本概念、体系结构、每层功能、常用协议及应用
- 教学方式 课堂讲授、课堂+课后作业、自学、网络编程实验



课程内容

重点讲授

- 第1章 计算机网络和因特网
- 第2章 应用层
- 第3章 运输层
- 第4章 网络层：数据平面
- 第5章 网络层：控制平面
- 第6章 链路层和局域网
- 第7章 无线网络和移动网络
- 第8章 计算机网络安全
- 第9章 多媒体网络

简单讲授

课外自学

第1章：计算机网络和因特网

目标：

- 学习基本概念
- 为后续章节铺垫
- 方法：
以因特网为例

内容：

- 什么是因特网？
- 什么是网络协议？
- 网络边缘：主机，接入网，物理媒体
- 网络核心：分组/电路交换，因特网结构
- 网络性能：丢包，时延，吞吐量
- 网络安全
- 协议层次，服务模型
- 计算机网络历史

第1章：计算机网络和因特网

1.1 什么是因特网?

1.2 网络边缘

- 端系统, 接入网, 链路

1.3 网络核心

- 分组交换, 电路交换, 网络结构

1.4 时延, 丢包, 吞吐量

1.5 协议分层, 服务模型

1.6 面向攻击的网络

1.7 计算机网络历史

计算机网络

- 第一个计算机网络1969年APARnet，计算机技术与通信技术相结合

计算机网络定义与组成：

用通信设备和通信链路连接起来，使用网络协议进行数据通信与资源共享的计算机集合

硬件：

✓ 通信子网：通信设备和通信介质，传输数据

✓ 资源子网：计算机及其软硬件，存储和处理数据

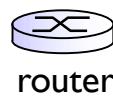
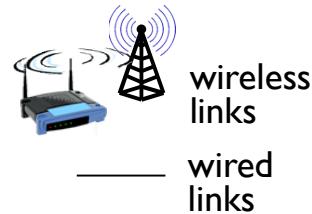
软件：

✓ 一系列网络协议：保证数据通信正确进行。

类型：很多，如局域网、广域网；有线网、无线网

本书以最大的计算机网络--因特网(Internet)为例

什么是因特网：具体构成角度



router

■ 以亿计的互联计算设备:

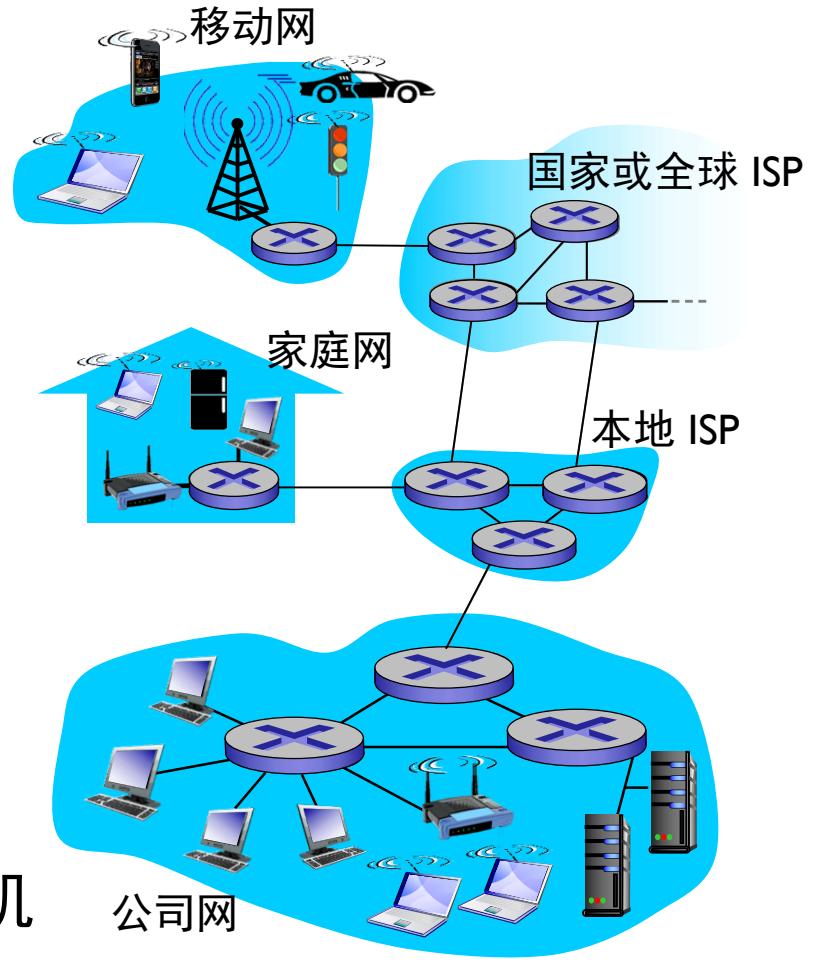
- 端系统（主机）
- 运行网络app

■ 通信链路

- 光纤，同轴电缆，无线电，卫星
- 传输速率: 带宽 bandwidth, e.g., 20M bps

■ 分组交换机: 传输分组

- 路由器router和交换机switch



因特网上的设备



IP picture frame
<http://www.ceiva.com/>



Web-enabled toaster +
weather forecaster



Tweet-a-watt:
monitor energy use



Internet
refrigerator



Slingbox: watch,
control cable TV remotely



sensorized,
bed
mattress

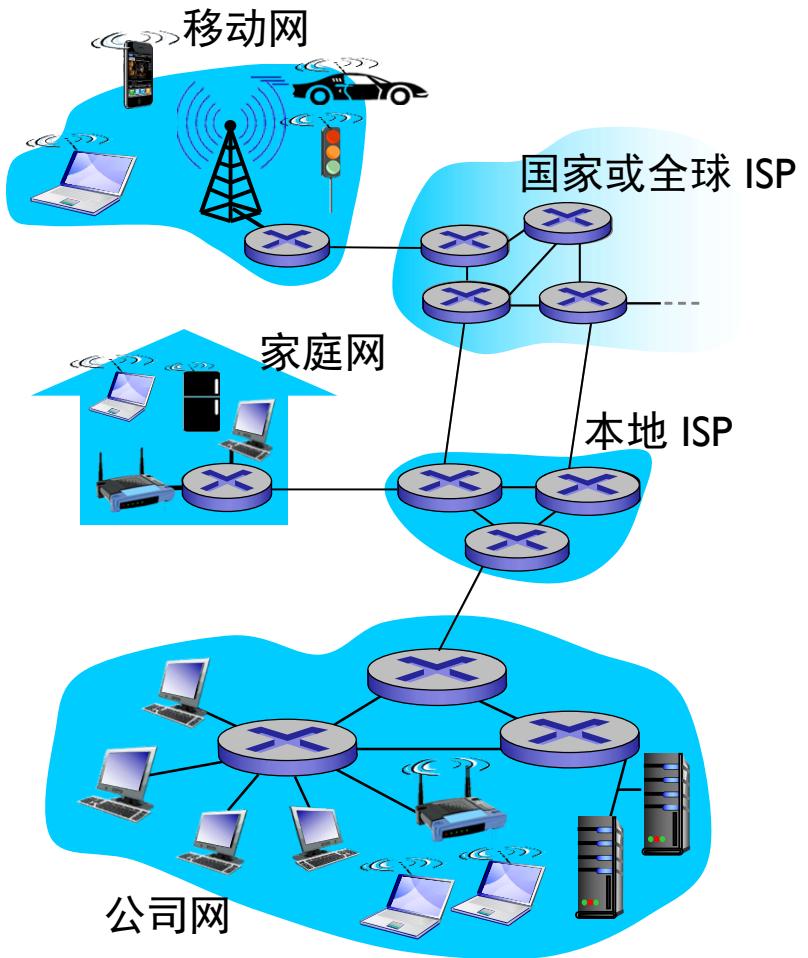


宠物自动喂食器与厕所



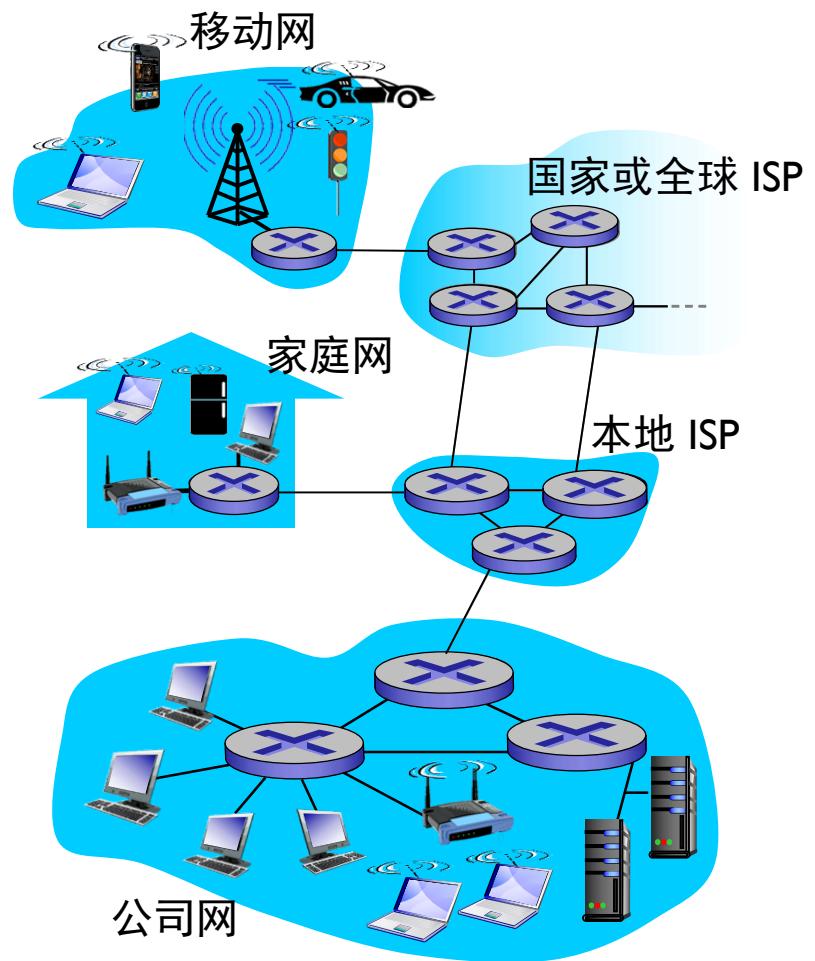
什么是因特网：具体构成角度

- 网络的网络
 - 有很多互联的因特网服务提供商ISP
- 网络协议：控制信息的发送与接收
 - e.g., TCP, IP, HTTP, Skype, 802.11
- 因特网文档
 - RFC: 请求评论Request for comments, 因特网相关文档，包括因特网标准、协议草案、会议记录等，已有7000多个
 - IETF机构: Internet Engineering Task Force



什么是因特网：服务角度

- 是信息基础设施，提供以下服务：
 - Web, VoIP, email, games, e-commerce, social nets, ...
- 为网络app提供编程接口
 - 使app可以连入因特网收发信息
 - 提供不同质量的传输服务

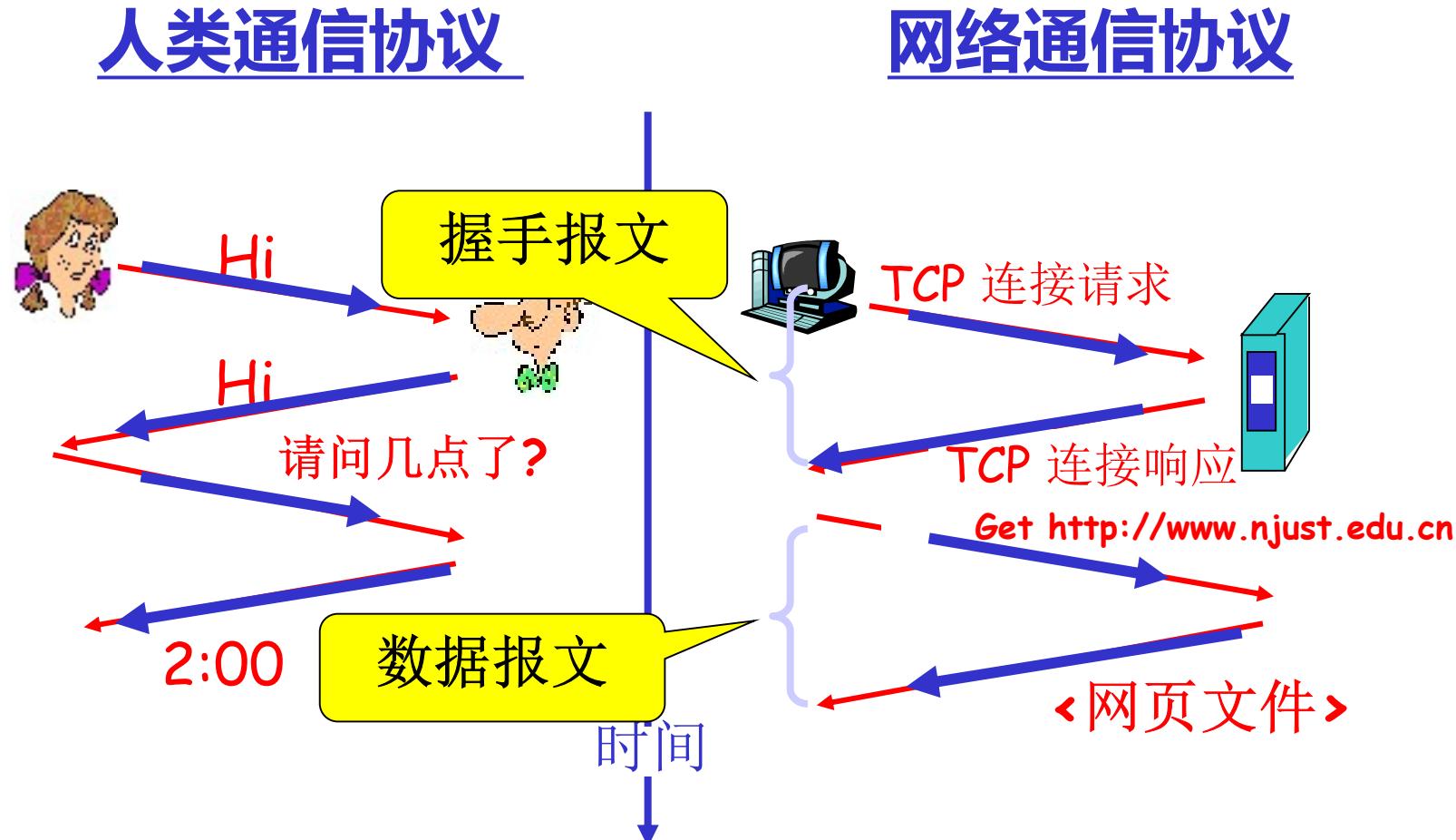


因特网提供的传输服务

- ✓ **面向连接的可靠服务：**通信前后需要建立和拆除连接（物理或逻辑连接），保证从发送方发出的数据，最终按顺序完整正确地交付给接收方。传输层的TCP协议
- ✓ **无连接的不可靠服务：**无连接，不对交付质量作任何保证，但效率高。传输层的UDP协议

通常，一种网络应用通常只使用一种服务。如邮件传输（面向连接）、网络管理（无连接）

什么是协议protocol?



什么是网络协议?

保证网络通信正确进行的规则与约定，由硬件或软件程序实现，每个端系统和通信设备都要运行

- 因特网使用TCP/IP协议族，含很多协议，如：
 - ⑩ TCP (*Transmission Control Protocol*) 传输控制协议
 - ⑩ IP (*Internet Protocol*) 网际协议

网络协议的内容

定义了报文的格式、含义和传输顺序，即，语法、语义和语序

不同协议完成不同的通信任务，例如HTTP协议传输网页、SMTP协议传输电子邮件、SNMP传输网络管理信息

第1章：计算机网络和因特网

1.1 什么是因特网?

1.2 网络边缘

- 端系统, 接入网, 链路

1.3 网络核心

- 分组交换, 电路交换, 网络结构

1.4 时延, 丢包, 吞吐量

1.5 协议分层, 服务模型

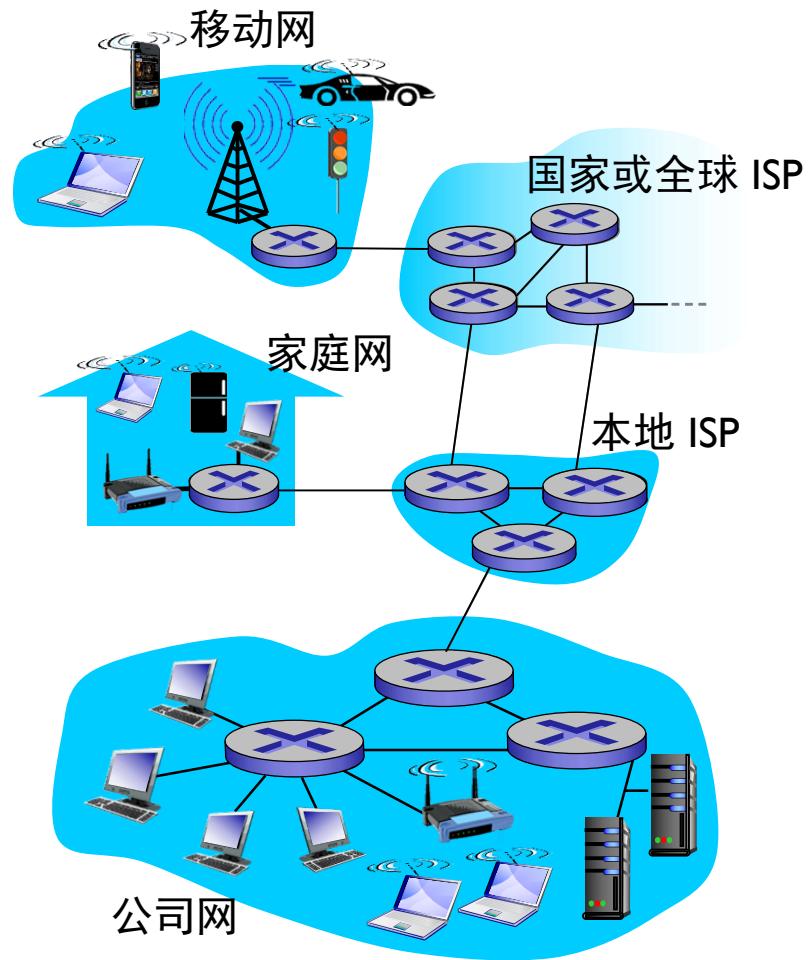
1.6 面向攻击的网络

1.7 计算机网络历史

网络结构

- 网络边缘（资源子网）：
 - 端系统：客户机client和服务器server，服务器通常位于机构的数据中心
 - 接入网，物理媒体：有线，无线，通信链路

- 网络核心（通信子网）：
 - 实现网络互联的路由器
 - 互联的网络



端系统

- 端系统 = 主机：
在“网络边缘”，运行分布式应用程序（如Web浏览器、电子邮件程序等）
- 分类：
 - 客户机 (client)：通常是个体计算机与设备。运行客户端软件，用于请求服务；
 - 服务器 (server)：通常是功能更强的计算机。运行服务器端软件，用于提供服务，如网页服务器，邮件传输服务器。
- 端系统间的工作模式：客户机 / 服务器(C/S)模式、对等(P2P)模式、混合模式

客户机/服务器(C/S)模式

存在客户机和服务器。

- **客户机**: 运行客户机程序的端系统，是服务请求方，从服务器接收服务。
- **服务器**: 运行服务器程序的端系统，是服务提供方。接收客户机请求，提供服务

因特网广泛采用。如电子邮件传输、Web网页传输、文件传输等。

Peer to Peer (P2P)模式

很少使用或不使用专门的服务器。

- **特点：**各端系统同时运行客户机和服务器程序，都具有双重角色
 - ✓ 当向另一方请求服务时，自己是客户机
 - ✓ 当向另一方提供服务时，自己是服务器

例如，BT (Bit Torrent比特洪流)下载

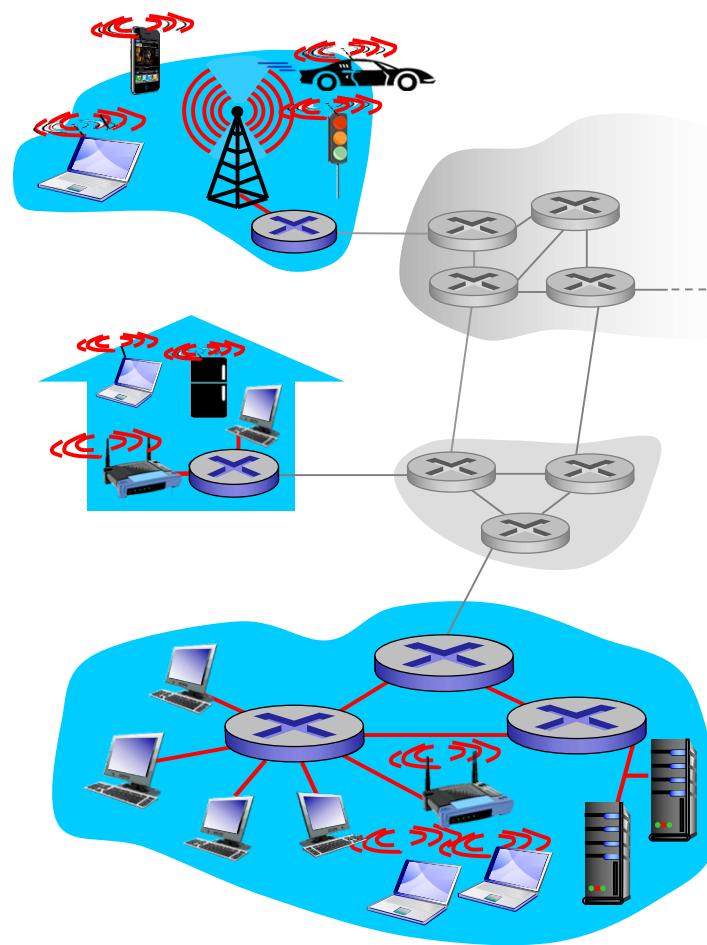
接入网与物体媒体

Q: 如何将端系统连接到因特网?

- 家庭网接入
- 机构网接入(学校, 公司)
- 移动网接入

需要考虑:

- 接入网的带宽bandwidth (bits per second)?
- 共享接入还是专用接入?



接入网: 数字用户线Digital Subscriber Line (DSL)

有多种技术，统称为xDSL系列：

如ADSL（非对称）、SDSL（对称）、HDSL（高速）、VDSL（超高速）等等。

常用的是ADSL非对称数字用户线(Asymmetric Digital Subscriber Line)。

ADSL特点

- 使用频分多路复用FDM：将电话线带宽划分3个频段：
 - ✓ 下载: 50 kHz ~ 1 MHz
 - ✓ 上载: 4 kHz ~ 50 kHz
 - ✓ 双向电话: 0 kHz ~ 4 kHz
 - ✓ 下载8Mbps, 上载1Mbps
- 上网、打电话互不干扰

多路复用技术

作用：让一条通信链路为不同连接传输数据。

常用技术：

- **频分多路复用 FDM** (Frequency Division Multiplexing)

 链路的频谱划分成若干频段，每个频段专用于一个连接

- **时分多路复用 TDM** (Time Division Multiplexing)

 链路的传输时间划分为若干固定时长的帧，帧再划分为固定数量的时隙，每个时隙轮流用于一个连接一小块数据传输

另外还有**波分多路复用WDM**（用于光纤）和**码分多路复用CDMA**（用于无线网，第7章）

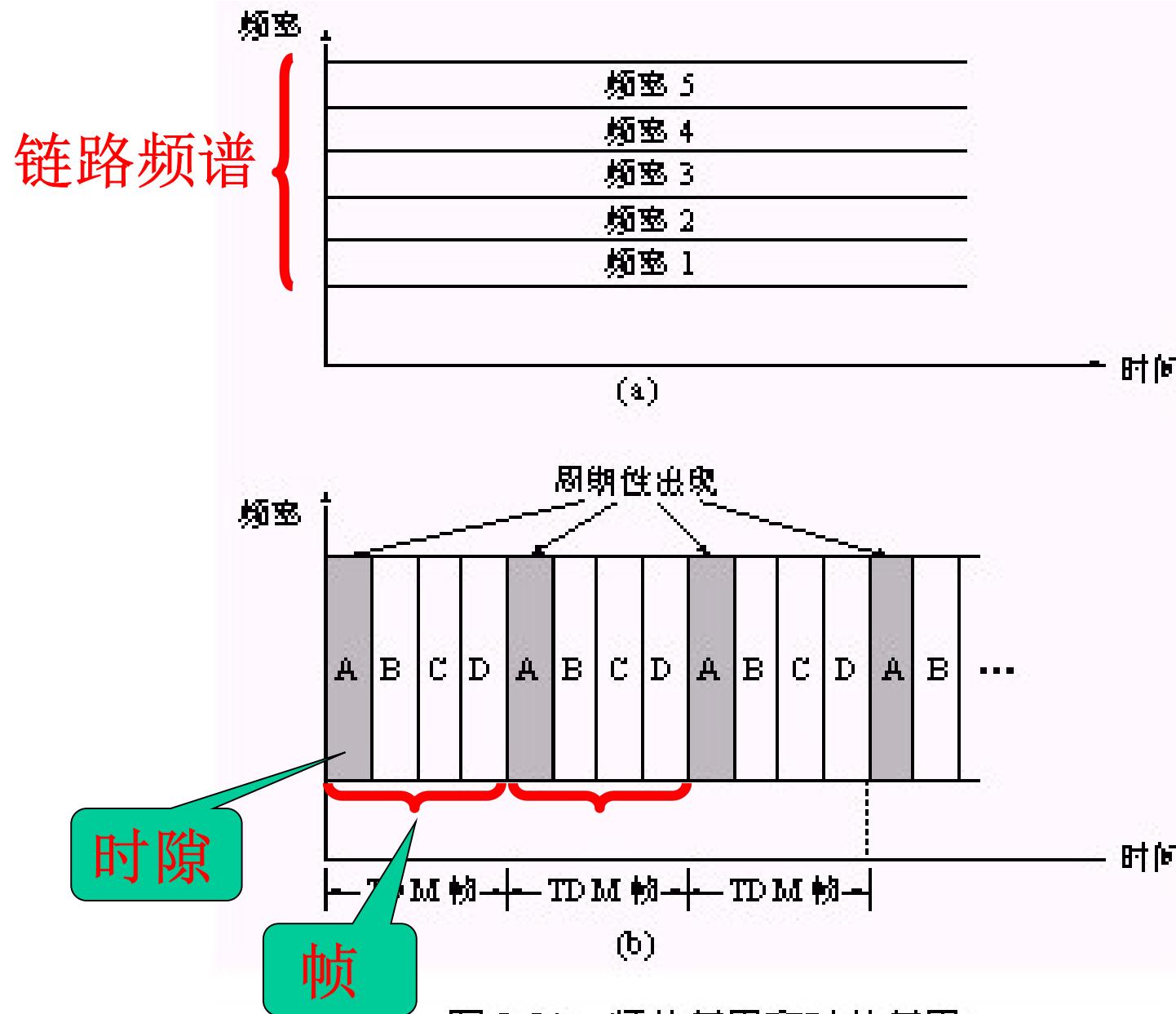
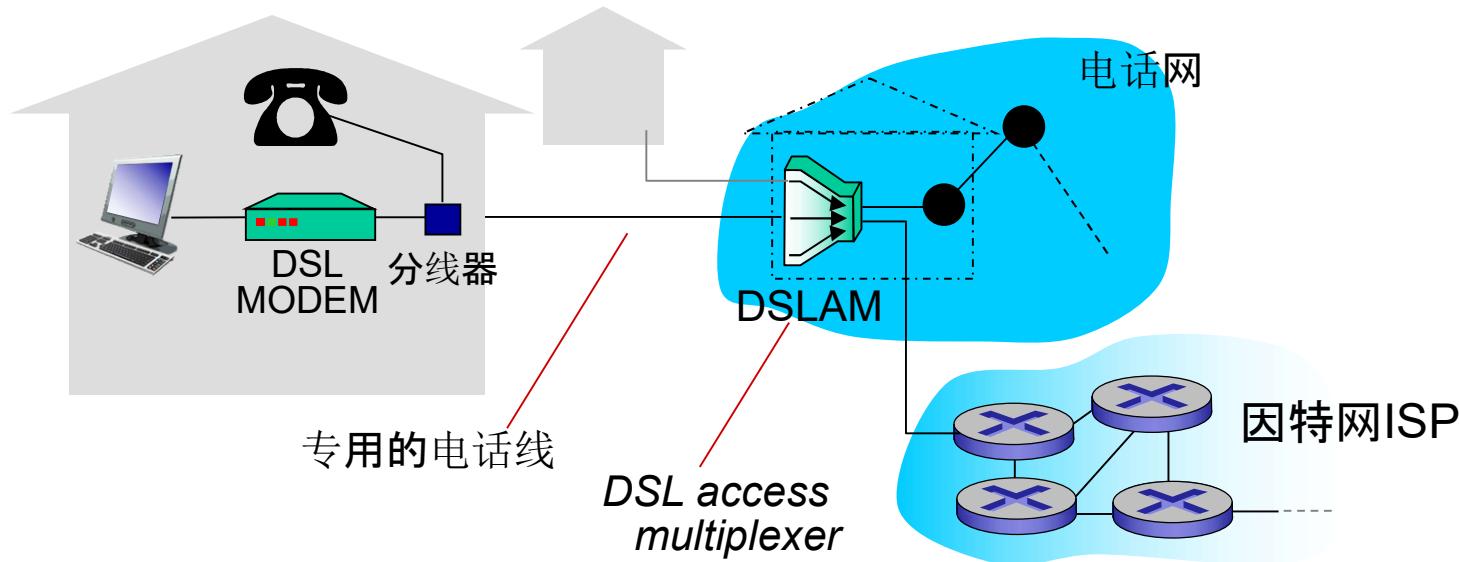


图 3-21 频分复用和时分复用

ADSL接入方法

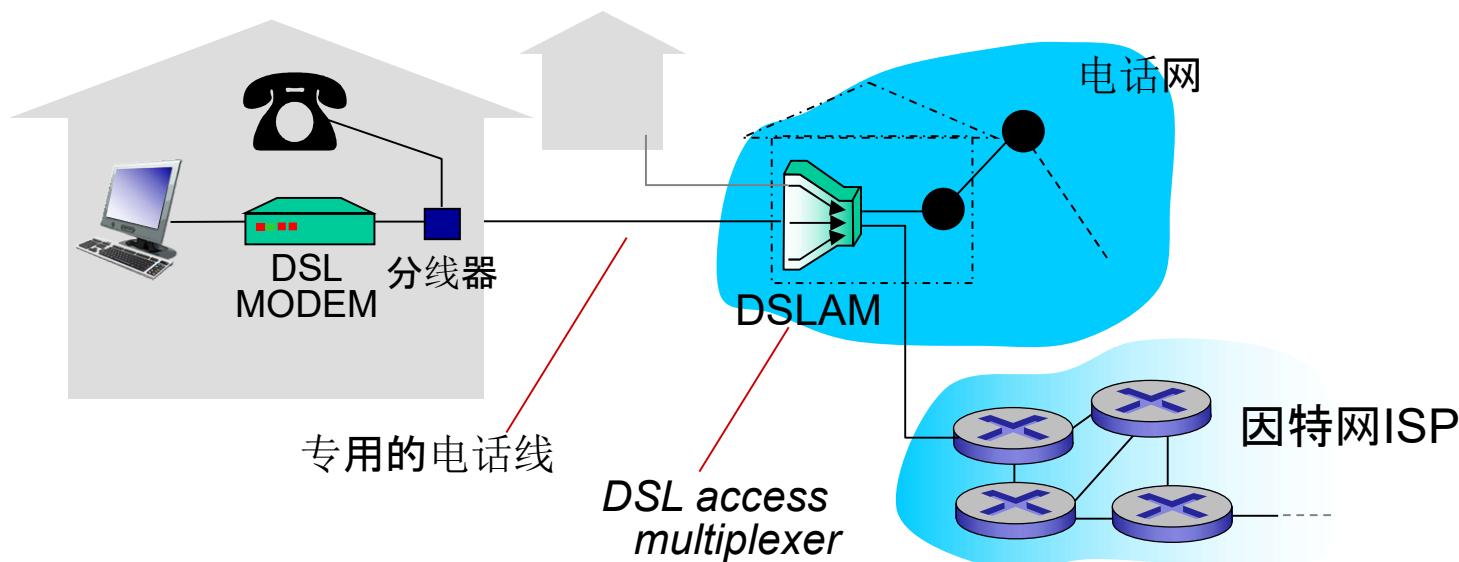
通过电话线以专用方式接入Internet，在用户端和ISP端各安装一台ADSL MODEM



MODEM功能

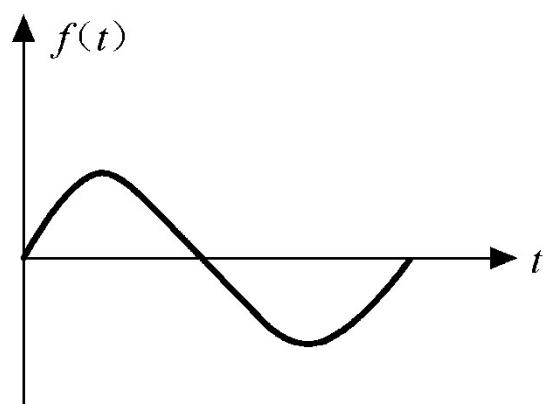
- ✓ 调制：将数字信号转换成模拟信号。
- ✓ 解调：将模拟信号转换成数字信号。

注意：在端系统和ISP都需要一个MODEM。（计算机和网络使用数字信号，电话线传送模拟信号）

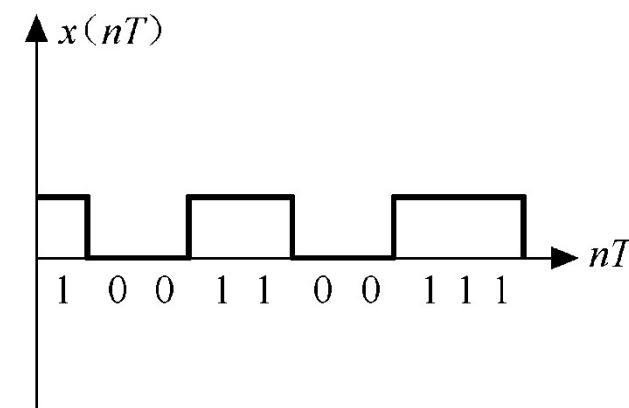


模拟信号和数字信号

- 模拟信号：用连续信号表示数据，如用不同振幅、频率、相位等表示数据。
- 数字信号：用离散信号表示数据，如有无磁性或高低电平表示“1”、“0”。

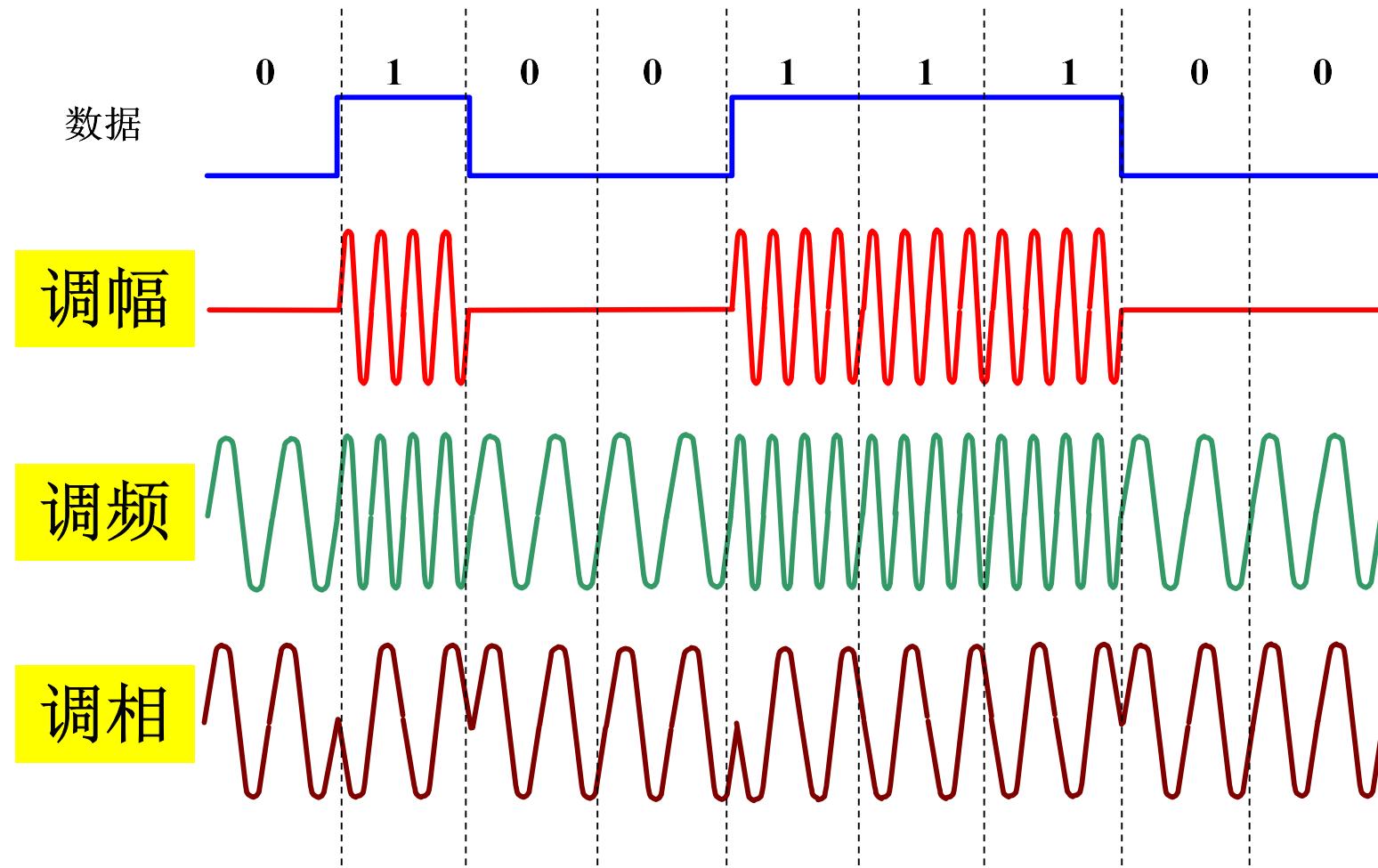


(a) 模拟信号



(b) 数字信号

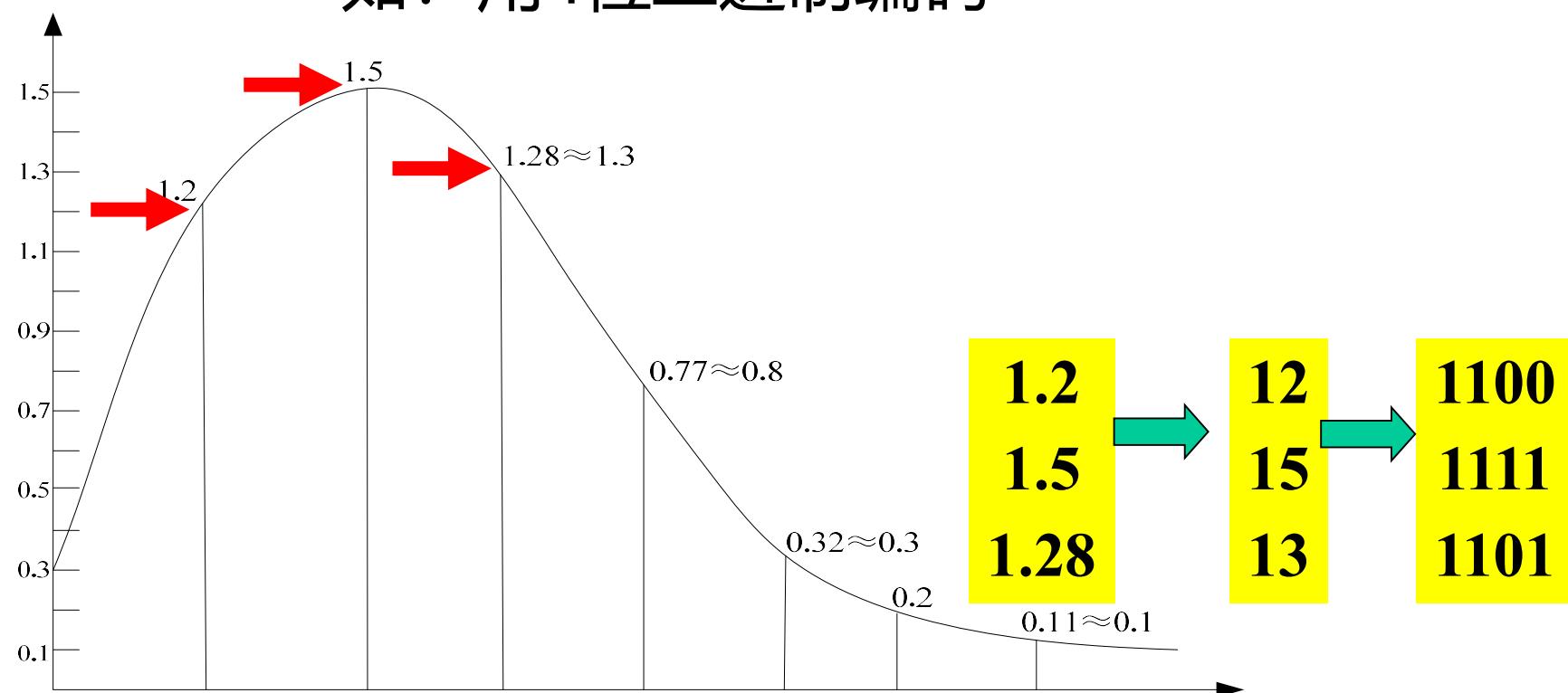
调制 (数字信号->模拟信号)



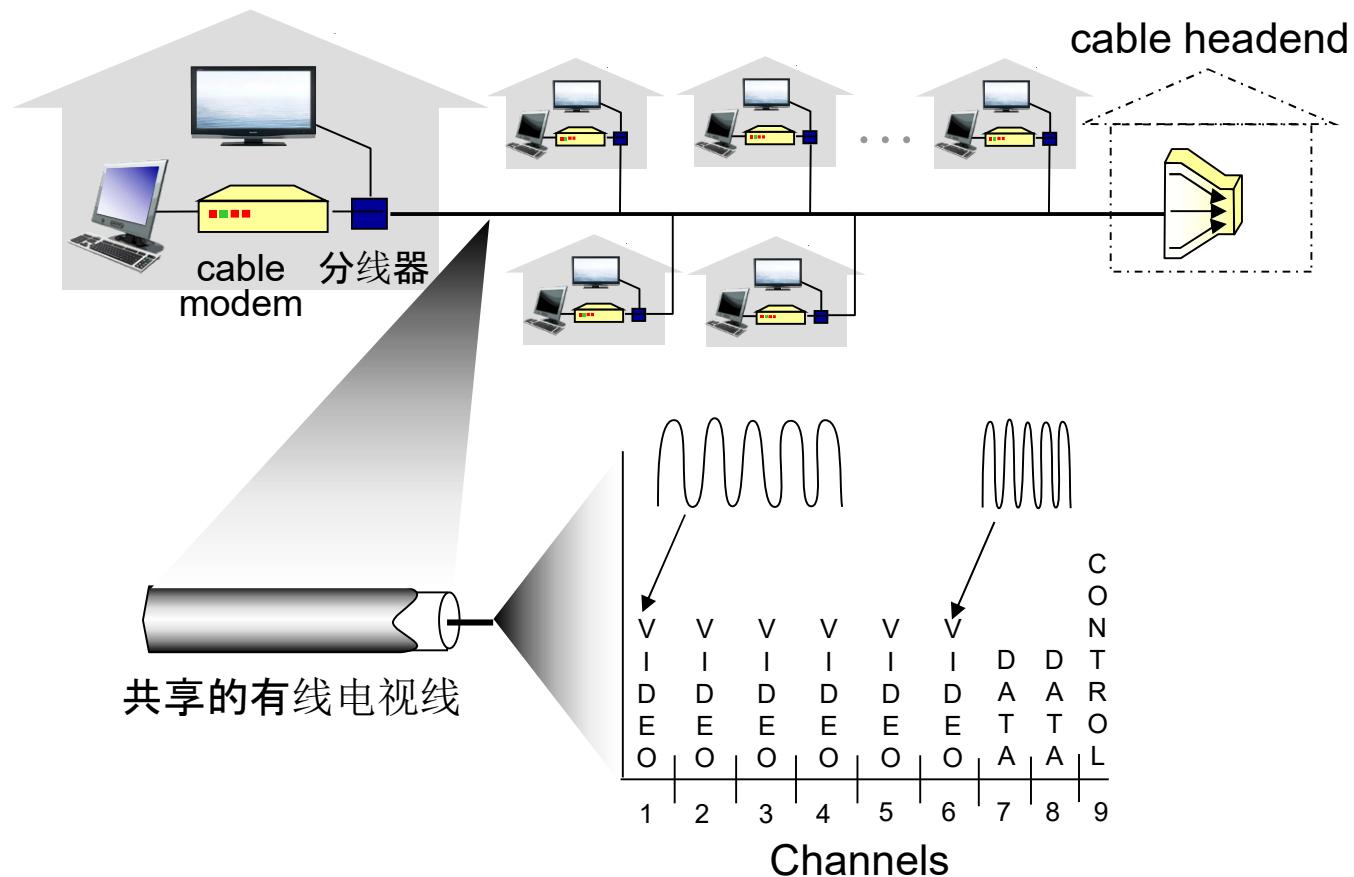
解调(模拟->数字): 脉冲编码调制PCM

- ✓ **采样**: 每隔固定时间取一个数值样本
- ✓ **量化**: 将样本按量化精度取整
- ✓ **编码**: 用二进制编码表示

如: 用4位二进制编码

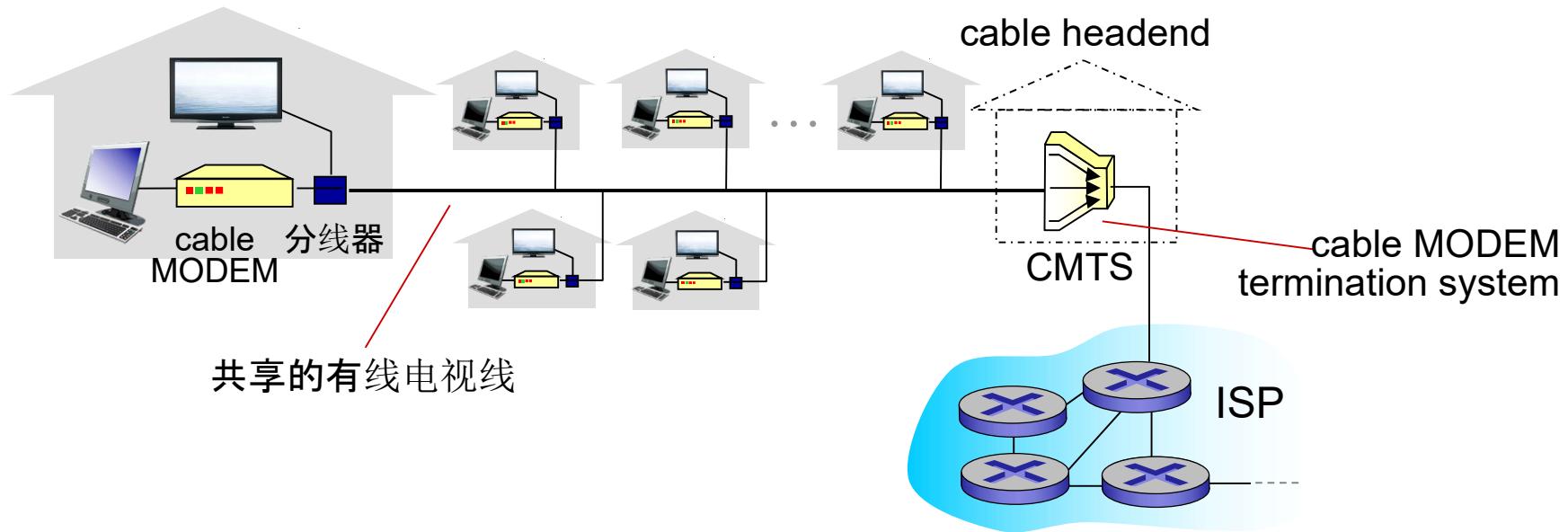


接入网: 混合光纤同轴电缆HFC



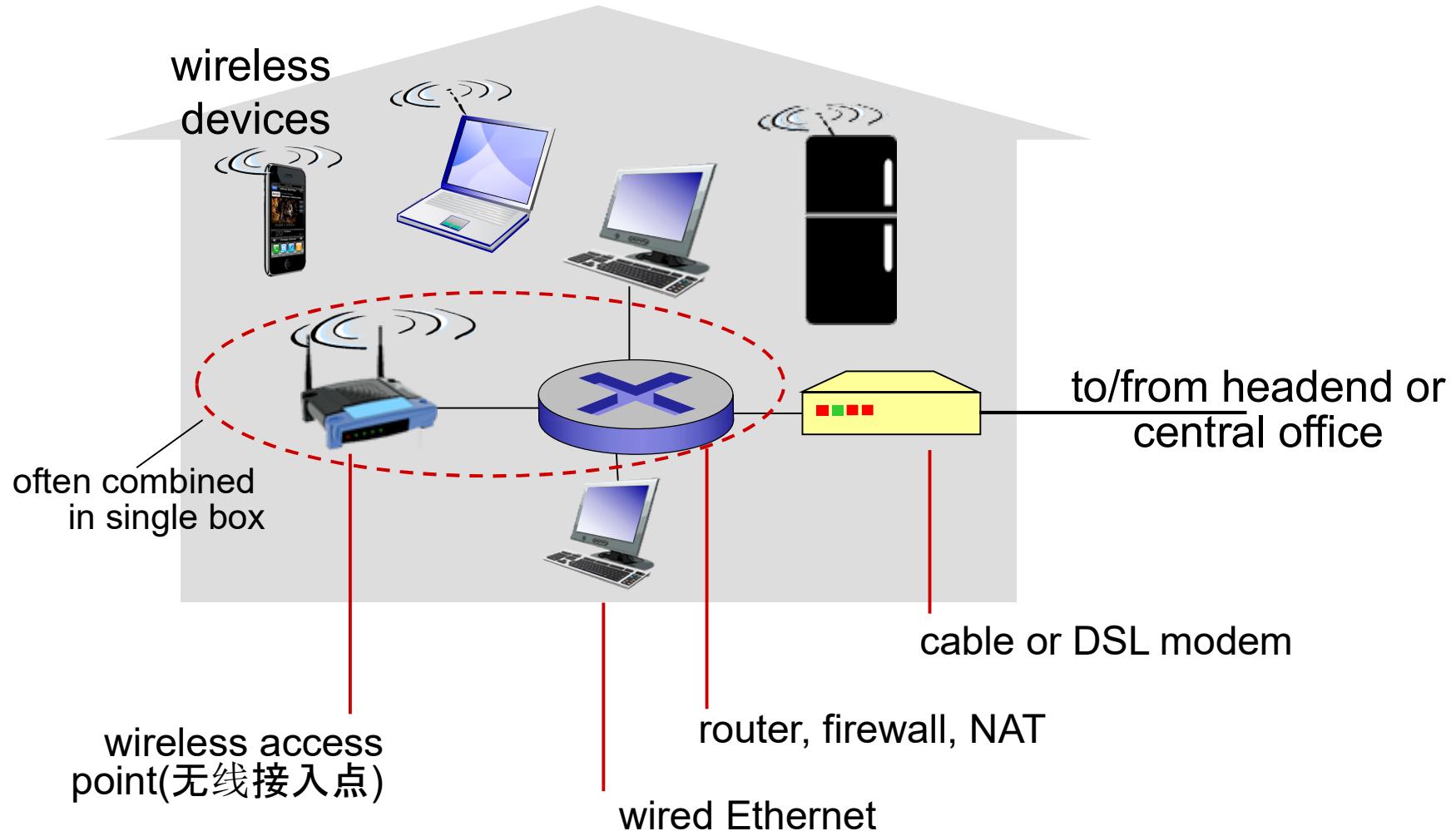
有线电视线采用FDM: 用不同频段传送不同信号

接入网: 混合光纤同轴电缆HFC



- HFC (hybrid fiber coax) 特点：
 - 使用Cable MODEM
 - 使用FDM
 - 多用户共享链路

家庭接入：DSL/HFC

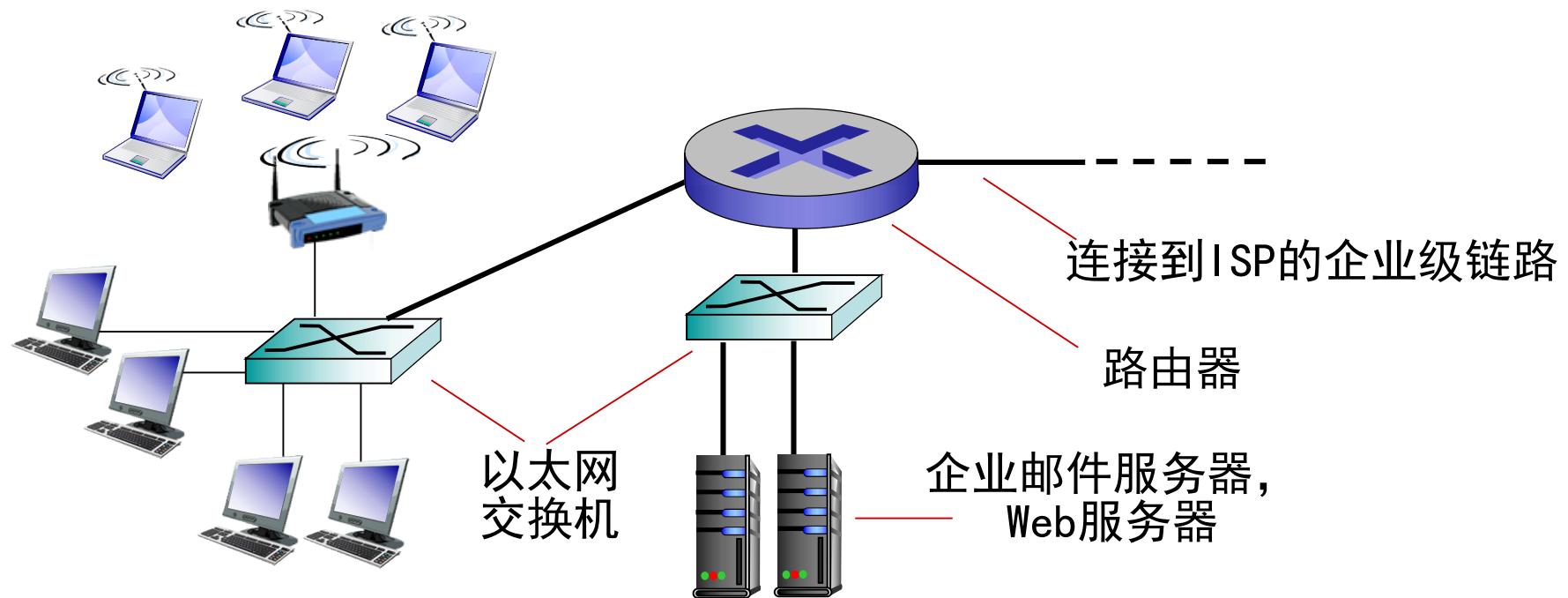


DSL和HFC比较

- ✓ 上网的同时打电话或收看电视
- ✓ DSL：用户与ISP建立点对点的专用电话线连接，欧洲和亚洲流行
- ✓ HFC：多用户共享使用光纤和同轴电缆，北美流行
- ✓ HFC通常比DSL带宽高一些，下载最高100Mbps，但高峰期速度下降

家庭网还可使用FTTH接入（需要光猫），带宽更高

企业/家庭接入：以太网Ethernet方式

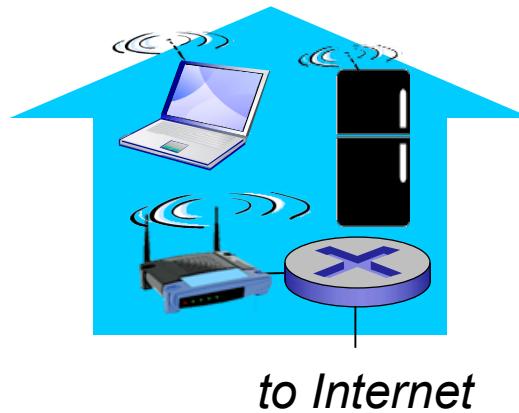


- 通常用于公司，学校等
- 传输速率：100Mbps, 1Gbps或更高
- 端系统连接以太网交换机

企业/家庭接入：无线方式

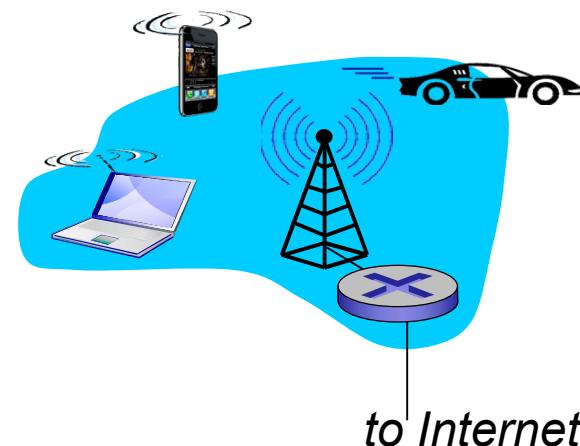
Wi-Fi接入：

- 用于建筑内(30米)
- 802.11b/g/n: 传输速率 11, 54, 450 Mbps



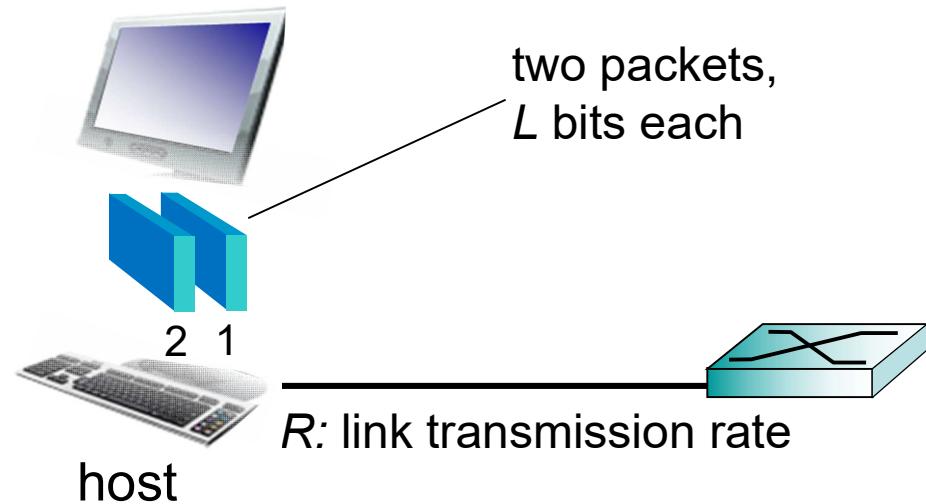
蜂窝网络接入：

- 由服务商提供, 大范围移动接入
- 传输速率 1 and 10 Mbps
- 3G, 4G: LTE



主机: 发送数据分组

- 从应用层接收数据
- 将数据切割成若干长度为 L bits 的分组
- 以传输速率 R 将分组发送到接入网
 - 链路传输速率, 又称为链路带宽



$$\text{分组传输时延} = \frac{\text{发送一个分组}}{\text{到链路所需的时间}} = \frac{L \text{ (bits)}}{R \text{ (bits/sec)}}$$

物理媒体

将不同设备互连起来的物理链路

- ✓ 又称传输介质、通信链路
- ✓ 通过**电磁波**来传输比特流（电信号，光信号，红外，无线电波，激光）

分为两大类：

- ✓ 导引型媒体：电磁波沿着固体媒体传播。如双绞线、同轴电缆、光缆
- ✓ 非导引型媒体：电磁波在空气或外层空间中传播

不同物理媒体的价格、速度、可靠性、最大通信距离、连接的最大设备数不同

1、双绞线

最便宜、最普遍。如电话线、网线

- **组成：**两根绝缘铜线螺旋扭合，用于减少电磁干扰
- **特点：**
 - ✓ 模拟或数字信号
 - ✓ 传输速率与铜线直径和传输距离有关
 - ✓ 最大传输距离，通常100米



双绞线电缆

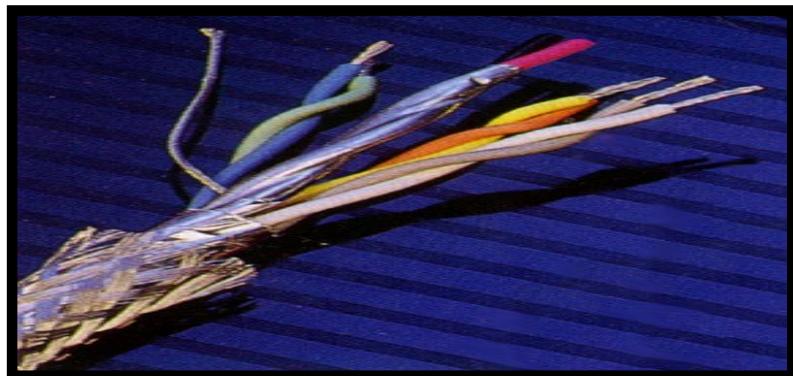
多对双绞线组成一根电缆，分为：

✓ **屏蔽双绞线STP (Shielded Twisted Pair):**

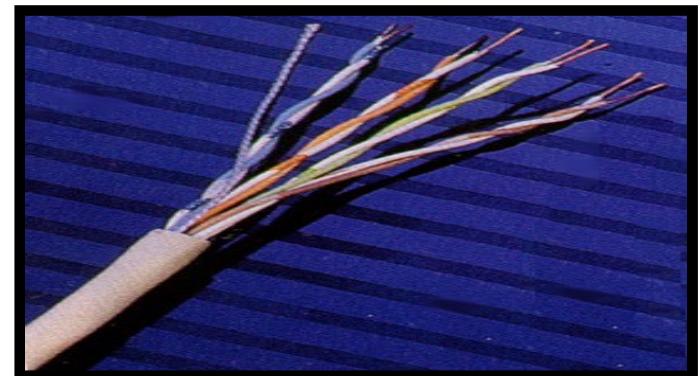
抗电磁干扰能力强，贵，安装复杂

✓ **非屏蔽双绞线UTP:**

分为若干类，常用于LAN，如常见的网线



屏蔽双绞线 STP



非屏蔽双绞线 UTP

双绞线分类

双绞线类别	带宽(MHz)	典型应用
3	16	低速网络； 模拟电话
4	20	短距离的10BASE-T以太网
5	100	10BASE-T以太网； 某些 100BASE-T快速以太网
5E(超5类)	100	100BASE-T快速以太网； 某些 1000BASE-T千兆以太网
6	250	1000BASE-T千兆以太网； ATM网络
7	600	万兆以太网



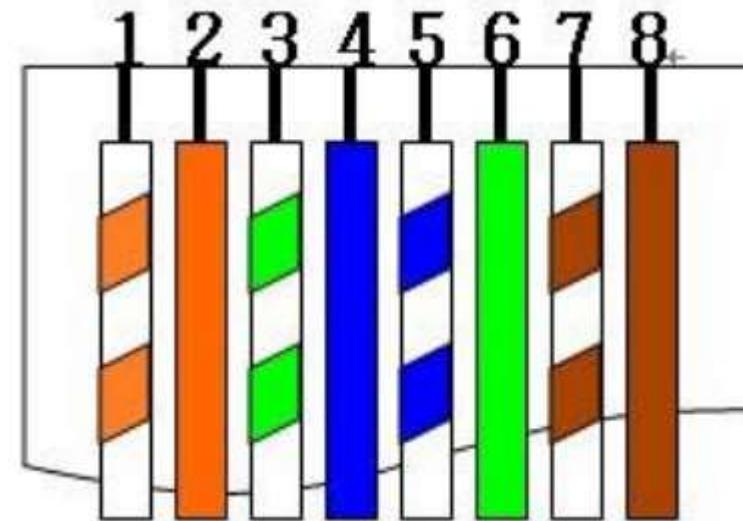
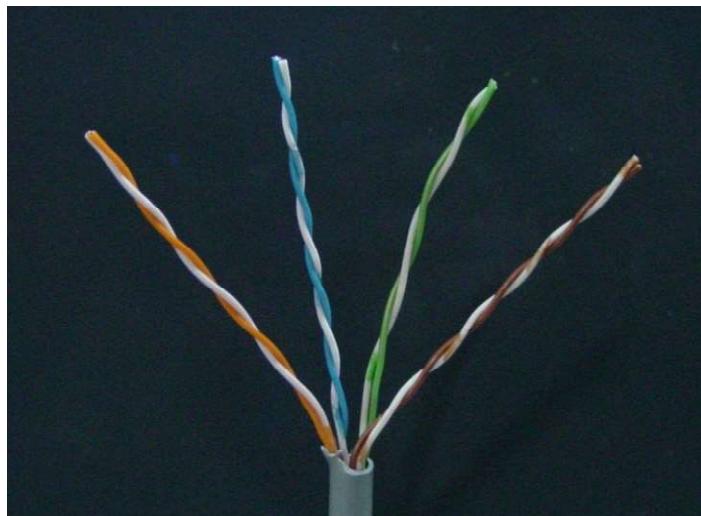
(a) 3类线



(b) 5类线

双绞线的使用

- 有4对8根线，用不同颜色区分：
白橙， 橙， 白绿， 蓝， 白蓝， 绿， 白棕， 棕。其中：
 - ✓ 1, 2和3, 6分别用来发送和接收数据
 - ✓ 其它未使用



双绞线的使用

- 双绞线通过**RJ-45接头**（水晶头）连接计算机网卡或交换机**RJ-45接口**



RJ-45接口的引脚

- RJ-45接口有8个引脚。分为：
 - ✓ 计算机和路由器：1、2发送；3、6接收
 - ✓ 交换机：1、2接收；3、6发送



计算机和路由器的
RJ-45接口

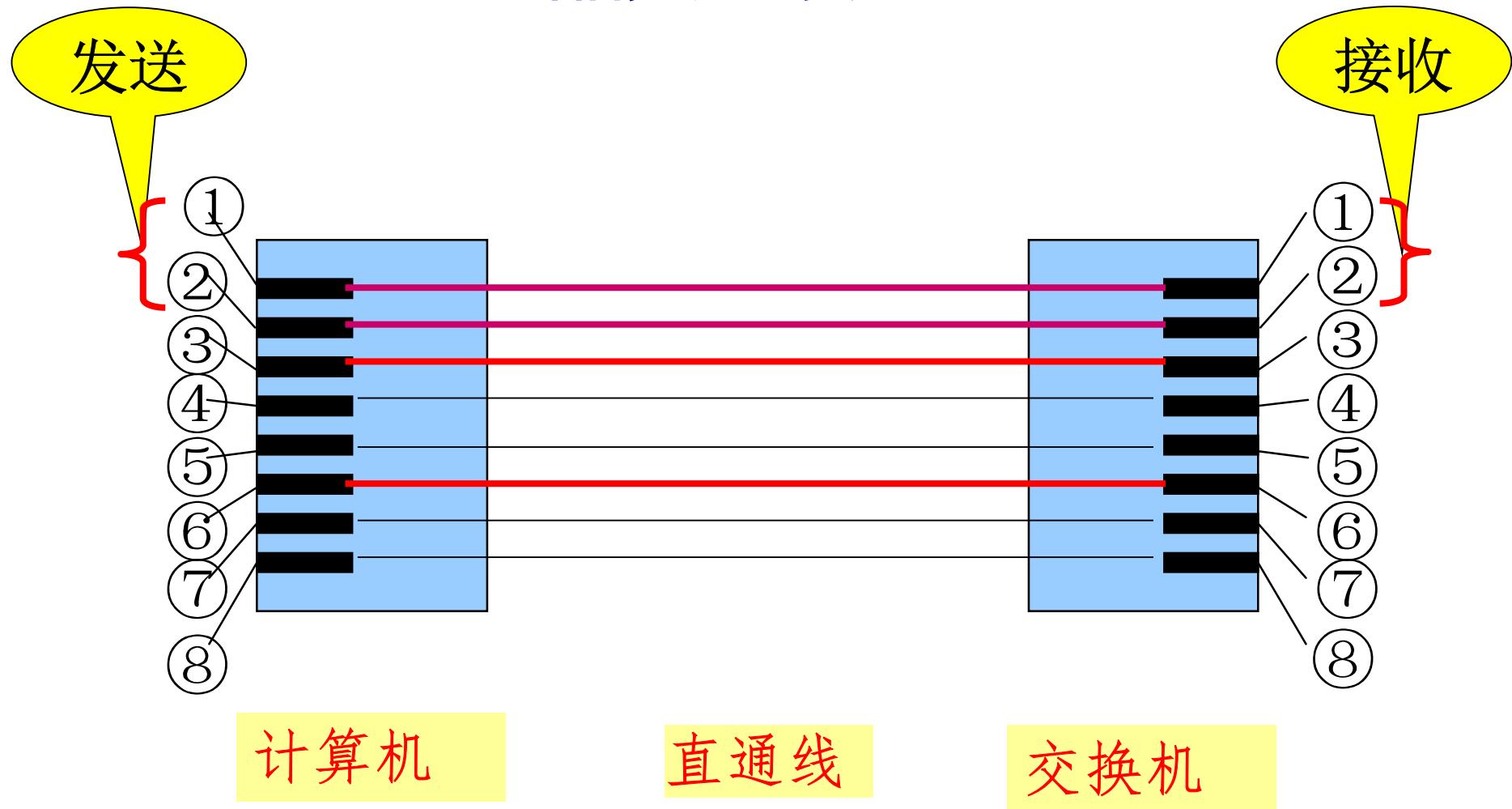


交换机的
RJ-45接口

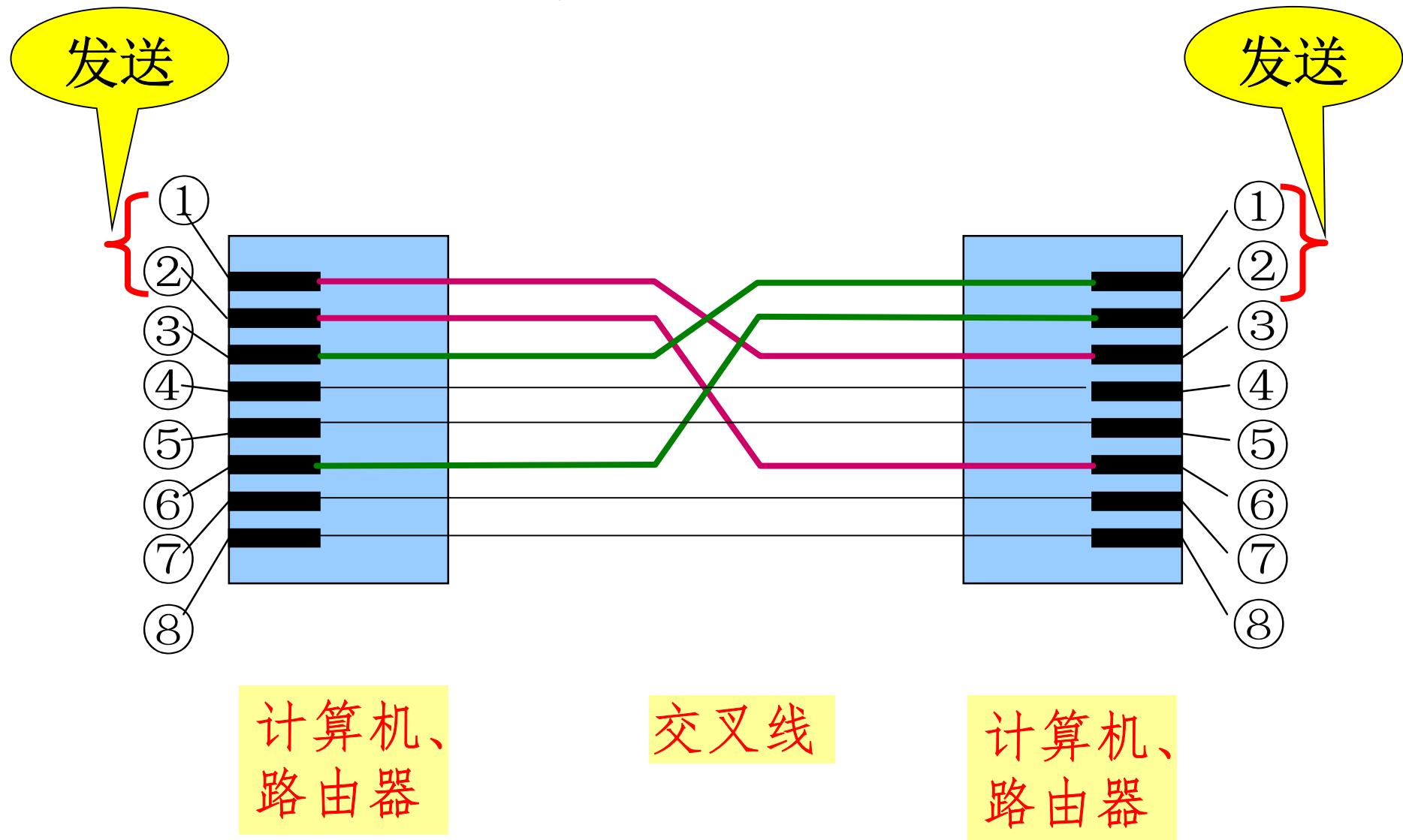
设备间的双绞线连接

- 两种：
 - ✓ **直通线**：两端线序相同，**用于不同类设备之间的连接**，如计算机与交换机
 - ✓ **交叉线**：双绞线两端水晶头的线序1与3, 2与6交叉，**用于同类设备间的连接**，如计算机与计算机，计算机与路由器，路由器与路由器

直通线的水晶头连接



交叉线的水晶头连接



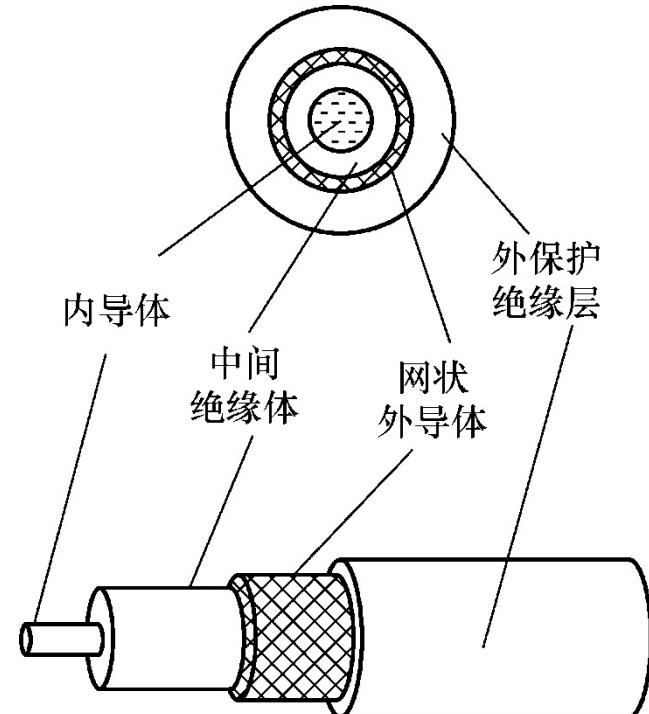
2、同轴电缆

用于有线电视网和早期局域网。

- **结构：**两个同心铜导体。
- ✓ **内导体：**传递数据。
- ✓ **外导体：**地线及屏蔽干扰。
- **特点：**抗干扰能力强

数据率高

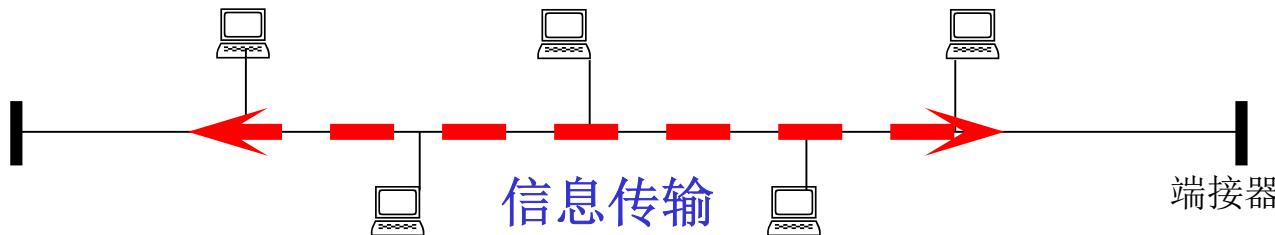
- **类型：**
- ✓ 基带同轴电缆
- ✓ 宽带同轴电缆



基带同轴电缆（50欧姆电缆）

特点：

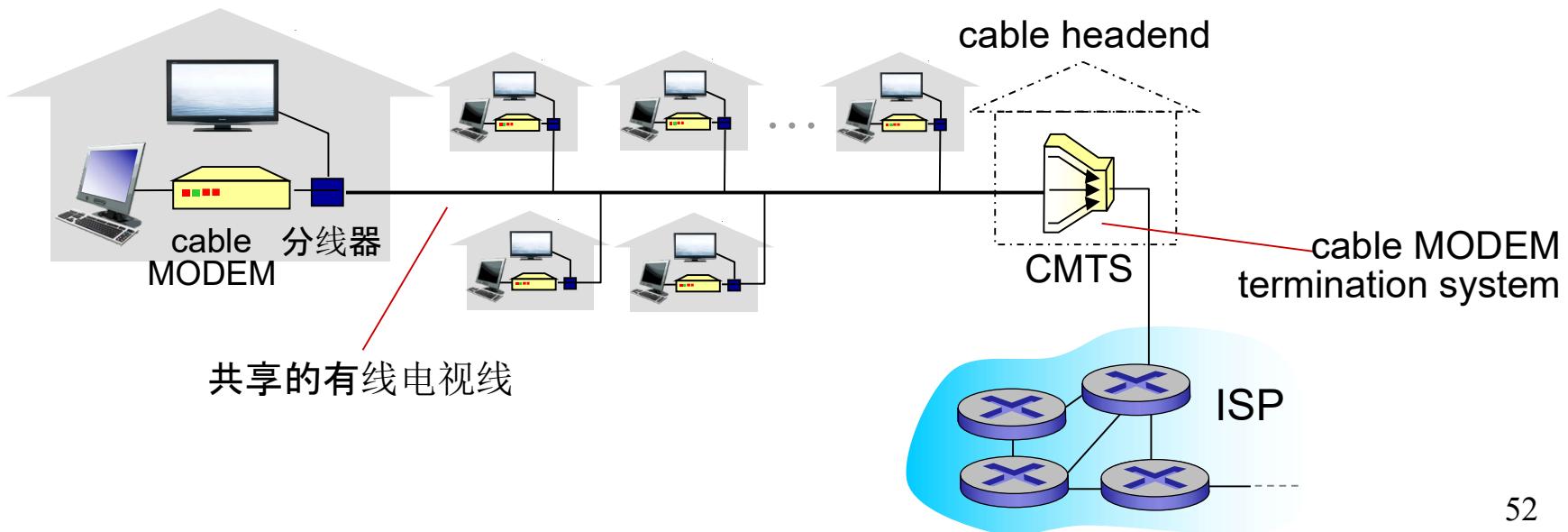
- ✓ 细、轻、易弯折。用于早期有线局域网，端系统通过T型连接器连接电缆
- ✓ 传送基带数字信号 (基带信号：信源发出的没有经过调制的原始数字信号)。
- ✓ 采用总线结构



宽带同轴电缆 (75欧姆电缆)

特点：

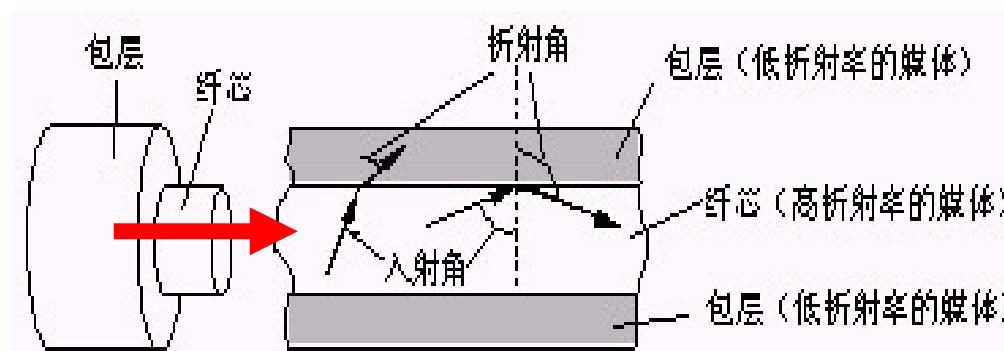
- ✓ 较粗、重、硬。用于有线电视网，可以结合cable MODEM，实现HFC家庭接入
- ✓ 传输宽带模拟信号
- ✓ 通常采用**树形结构**



3、光纤Fiber

特点：

- ✓ 很细(几微米)、传送光脉冲(每个脉冲表示一个比特)、高带宽(最高10GHz以上)、不受电磁场干扰
- ✓ 双层结构：由纤芯和包层构成，纤芯传导光波



光纤传光原理

- ✓ 包层折射率比纤芯低。光从高折射率媒体射向低折射率媒体时，折射角大于入射角，当入射角足够大时会产生**全反射**
- ✓ 不断地全反射，光沿着光纤传输下去

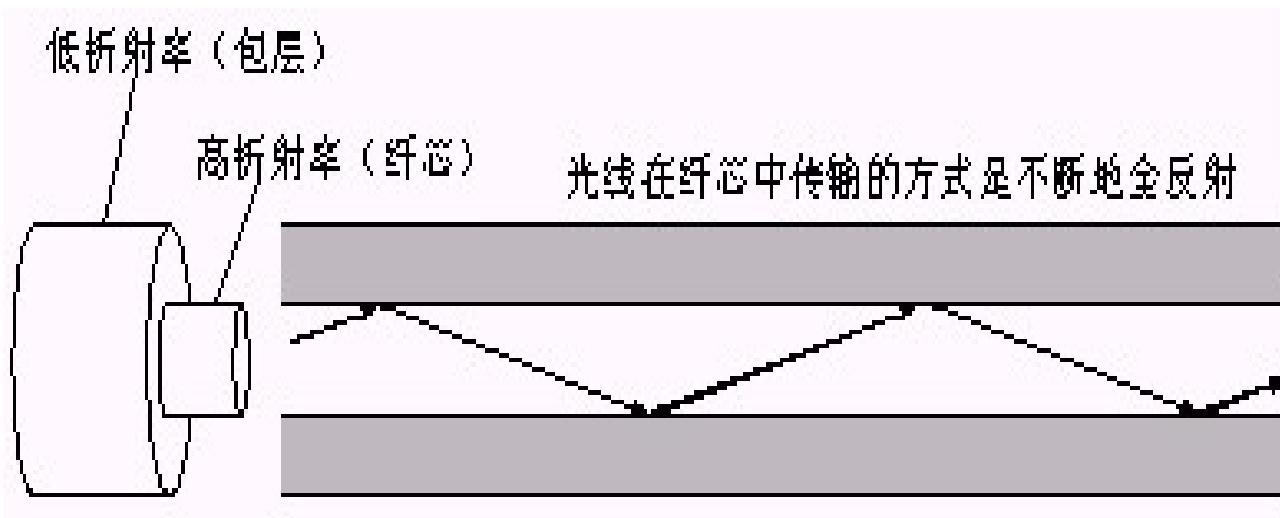


图 3-11 光波在纤芯中的传播

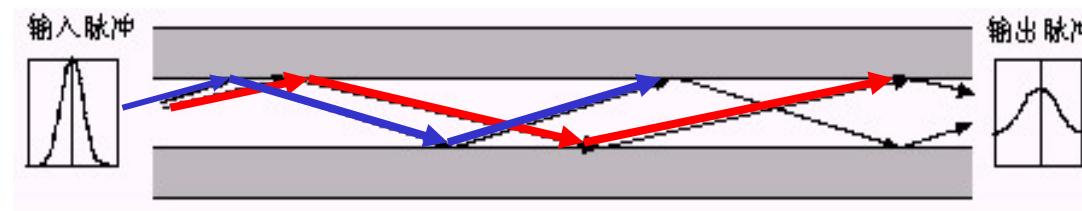
光纤传输系统

- 发送端：使用光猫：电信号->光信号
采用发光二极管LED或半导体激光器。
- 接收端：使用光猫：光信号->电信号。
采用光电二极管。

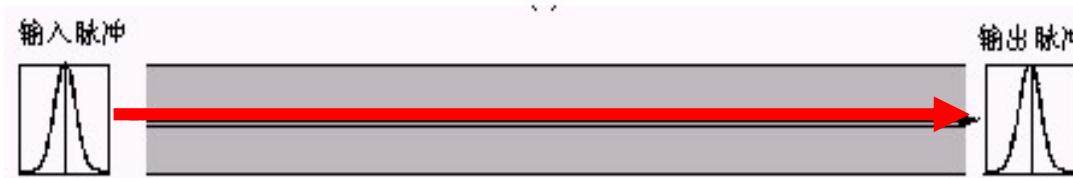


光纤类型

- **多模光纤：**
直径 $50\mu\text{m}$ 左右，光源采用发光二极管，全反射。
较便宜，近距离传输
- **单模光纤：**
直径 $10\mu\text{m}$ 左右，光源采用半导体激光器，光线沿光纤一直向前传播。较贵，远距离传输，可传数十公里



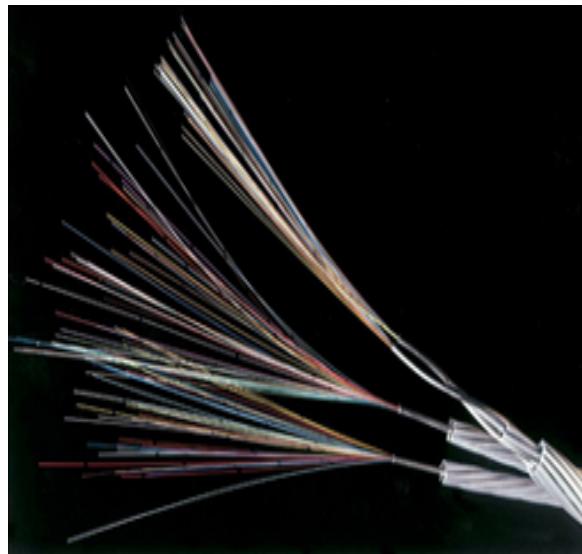
(a)多模光纤



(b)单模光纤

- 光纤的特点：

- ✓ 传输速率高（如10-100Gpbs）、不受电磁场干扰、误码率低、传输远
- ✓ 多个光纤集中在一起，形成光缆，用于网络主干
- ✓ 成本高、安装维护复杂



4、陆地无线电

- 特点：

- ✓ 不需要物理线路；
- ✓ 能穿透墙壁、连接移动用户
- ✓ 性能与环境有关（存在反射，遮挡和干扰）

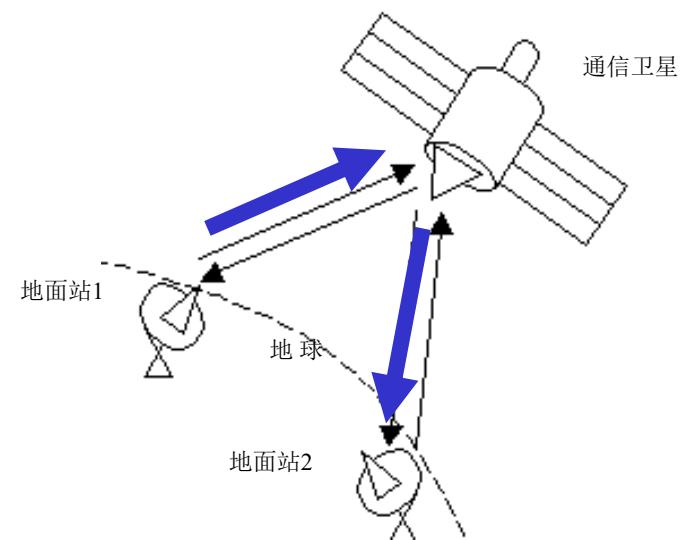
- 类型：

- ✓ 局域无线：几十到几百米，如Bluetooth, Wi-Fi等
- ✓ 广域无线：几十千米，如3G、4G等蜂窝网络

5、卫星无线电信道

通过通信卫星连接位于地球的微波发射方/接收方

可全球通信，但时延较大。



常见两类卫星

- **同步地球轨道卫星**：在地球赤道上方36000km，相对地球不动。3颗即可覆盖全球。传播时延大（270ms），信号衰减大，接收设备较大
- **低纬度卫星**：靠近地球，绕地球快速旋转。许多卫星才能覆盖全球，时延小，接收设备小

第1章：计算机网络和因特网

I.1 什么是因特网?

I.2 网络边缘

- 端系统, 接入网, 链路

I.3 网络核心

- 分组交换, 电路交换, 网络结构

I.4 时延, 丢包, 吞吐量

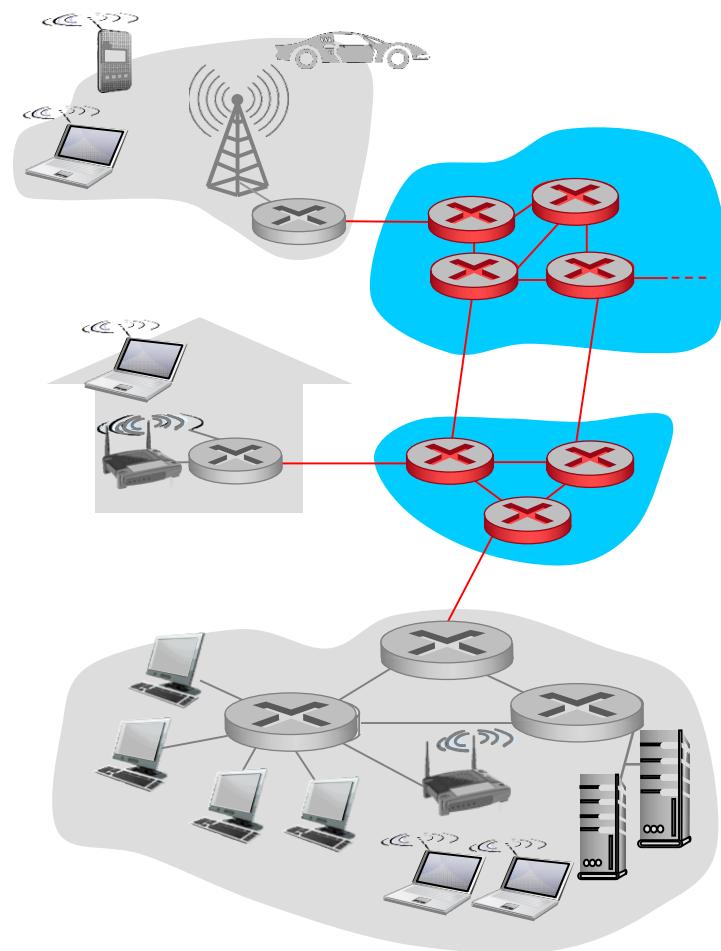
I.5 协议分层, 服务模型

I.6 面向攻击的网络

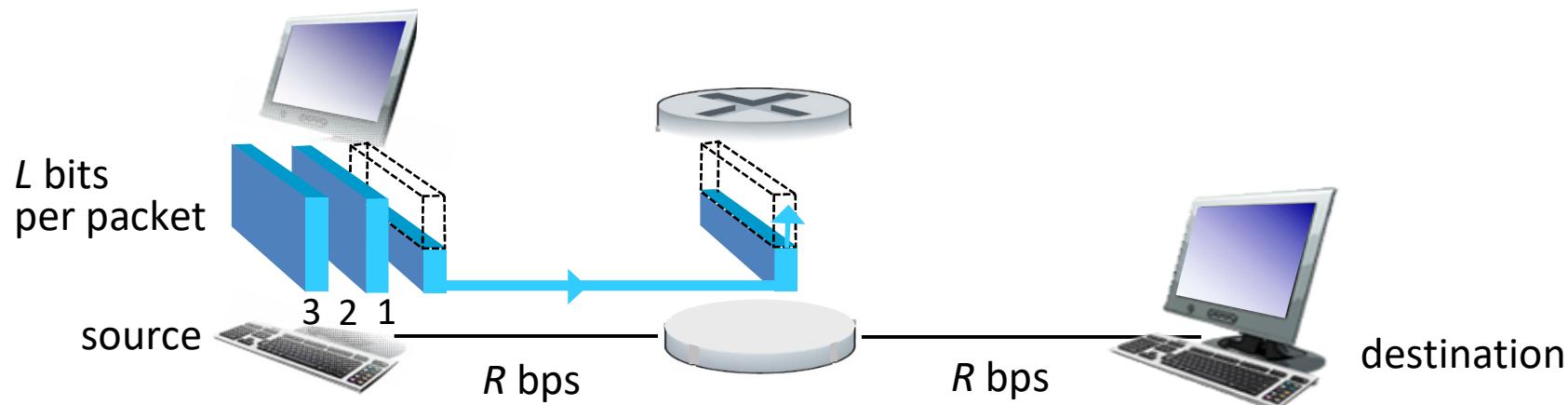
I.7 计算机网络历史

网络核心

- 组成：路由器和链路
- 分组交换：
 - 主机将应用层数据切分成若干分组
 - 通过若干路由器的接力传递，分组从起始主机到达目的主机
 - 每个分组使用链路的全部带宽传输
 - 因特网使用



分组交换：存储转发

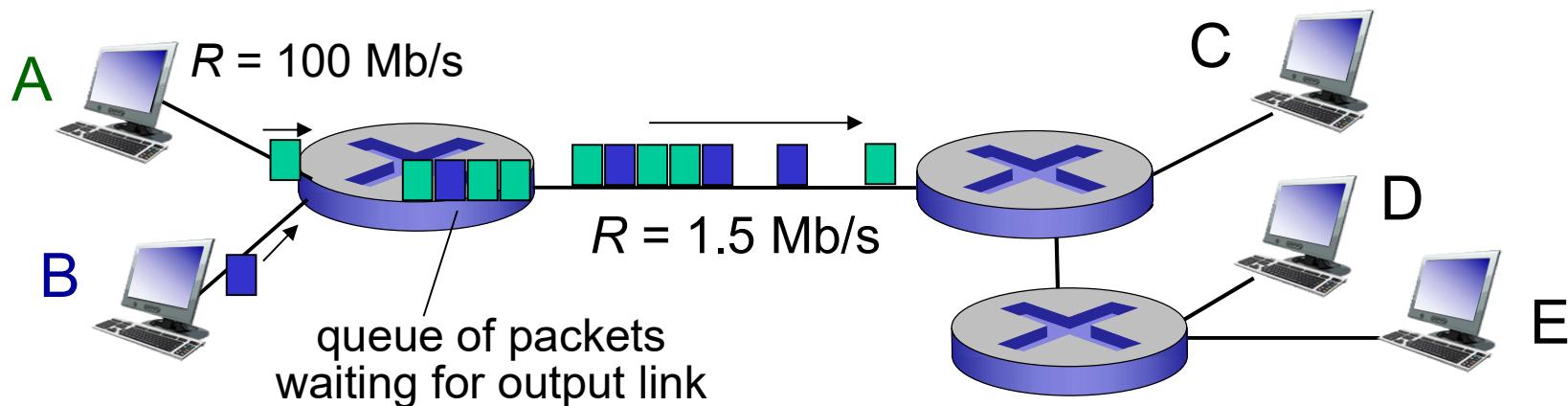


- 花费 L/R 秒将一个分组输出到链路
- **存储转发**: 整个分组必须完全到达路由器后，才能发送到下一链路
- 端到端时延 = $2L/R$ (假设不考虑传播时延)

例子:

- $L = 7.5 \text{ Mbits}$
- $R = 1.5 \text{ Mbps}$
- 一跳传输时延 = 5 sec

分组交换：排队时延，丢包



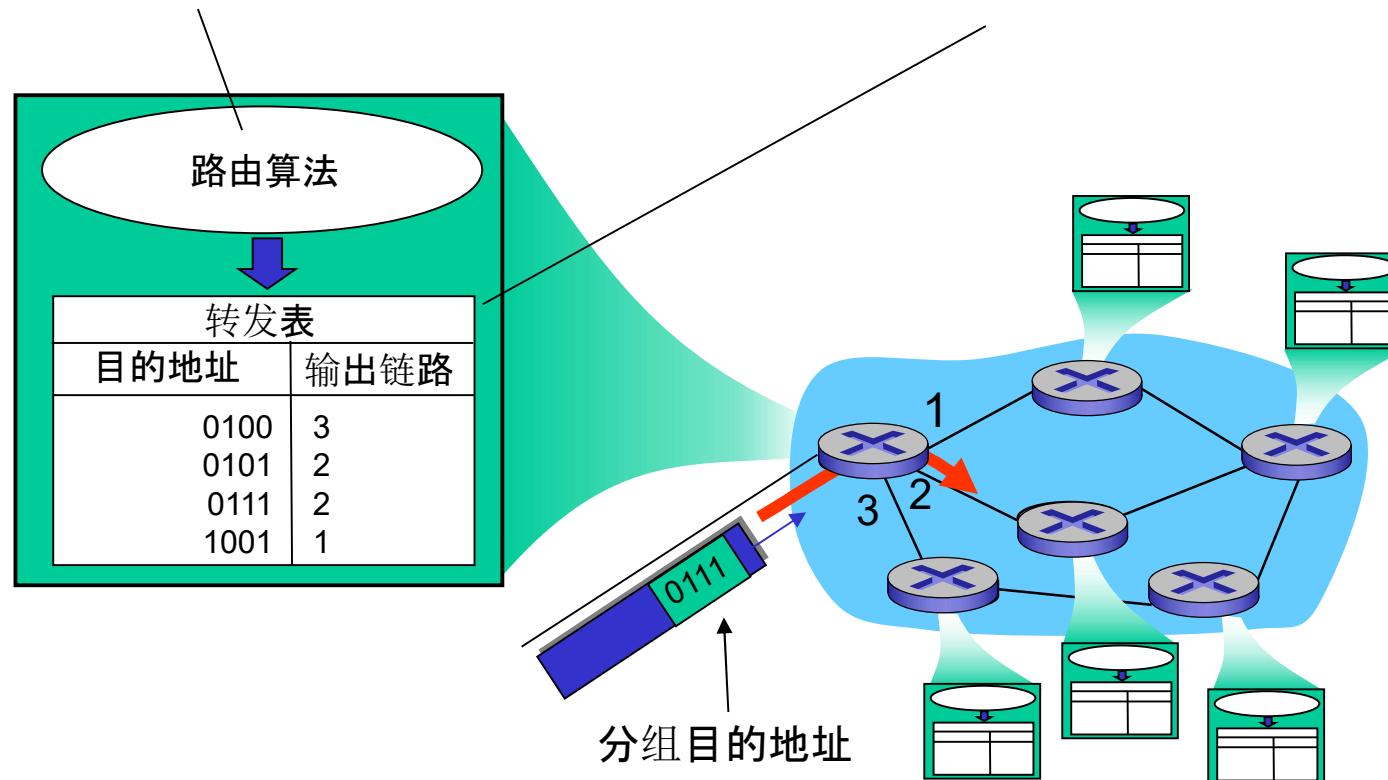
排队与丢包：

- 如果链路的分组到达速率超过传输速率：
 - 分组将在路由器的缓冲区排队，等待转发
 - 如果缓冲区满了，一些分组将被丢弃

分组转发的关键功能

路由: 确定分组去往目的地的
转发路径
▪ 路由算法

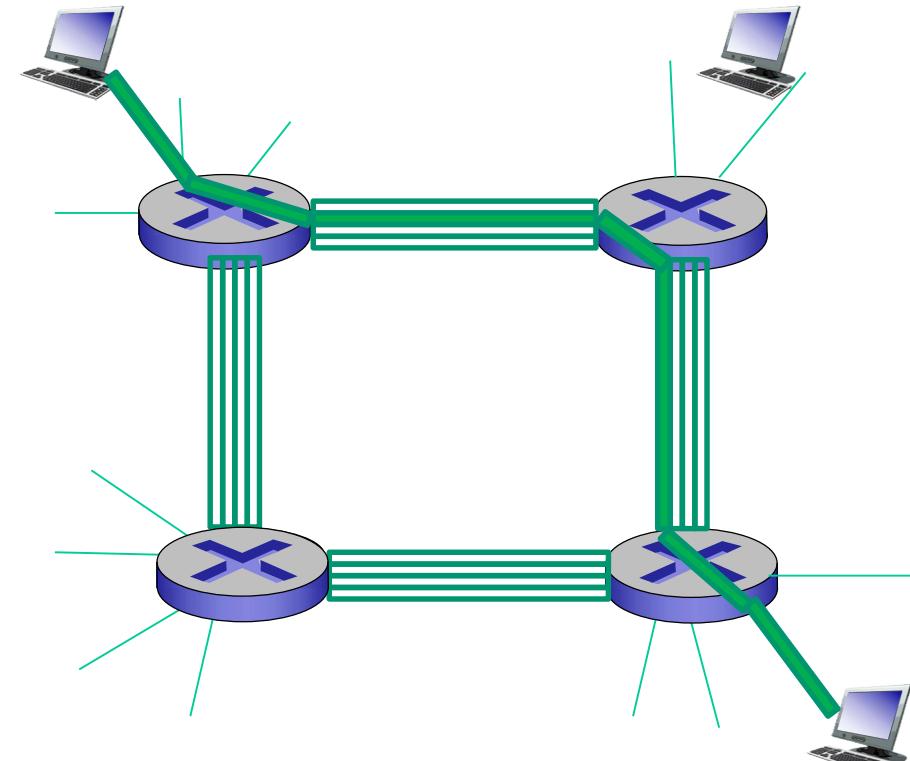
转发: 将分组从路由器的输入
端口转发到某个输出端口



电路交换

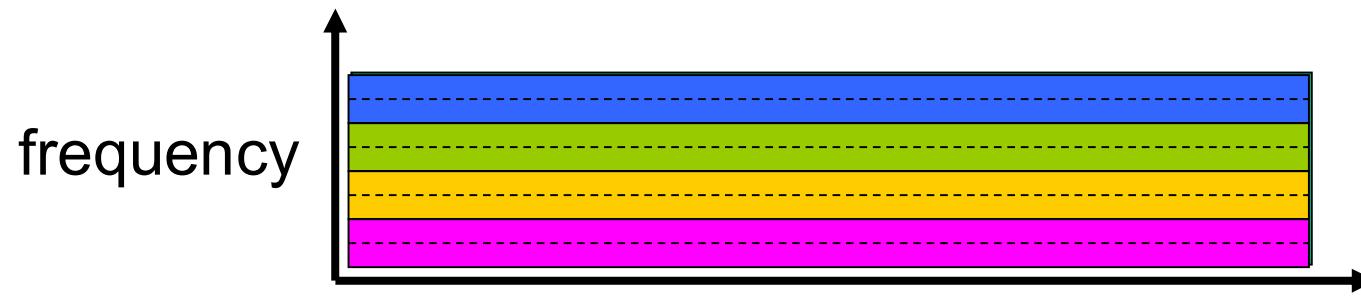
通过呼叫过程，在起始主机和目的主机间沿路预留通信所需资源（链路传输速率和缓存）

- 如右图，每条链路有4条电路。
 - 通过呼叫，通信获得顶部链路的第2条电路和右侧链路的第1条电路
- 资源专用：不共享，专用的电路即使处于静默期，也不被其他通信使用
 - 通信性能保证
- 传统电话网使用



电路交换: FDM vs. TDM

FDM

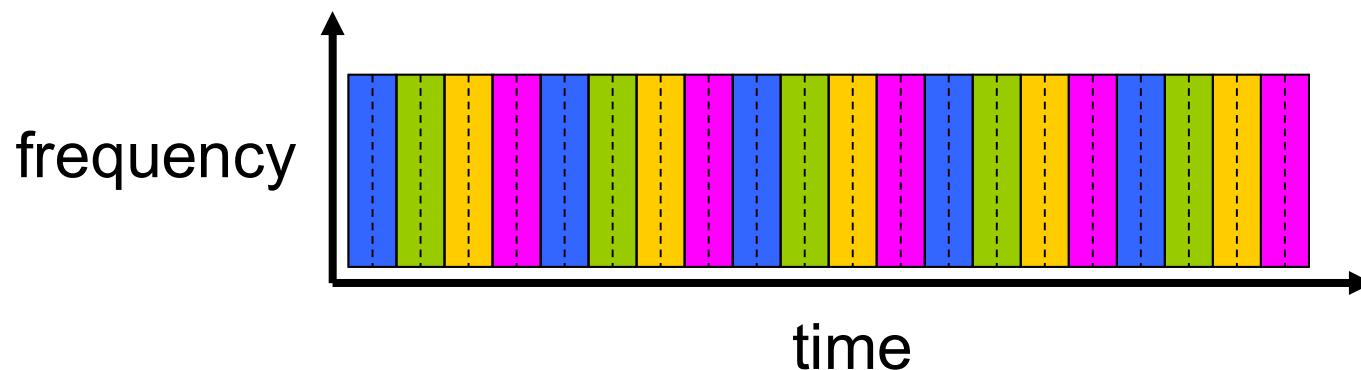


Example:

4 users



TDM

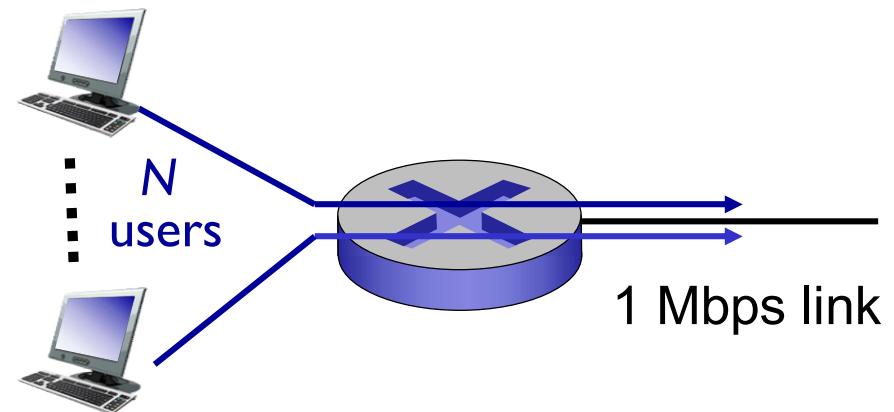


分组交换 vs. 电路交换

分组交换允许更多用户使用网络!

举例:

- 1 Mb/s 的链路
- 每个用户:
 - 活跃时占用 100 Kbps
 - 仅有 10% 的时间活跃
- 电路交换:
 - 10 个用户
- 分组交换:
 - 如果有 35 个用户, 超过 10 个用户同时活跃的概率小于 0.0004



Q: 正好有 10 个用户活跃的概率?

Q: 如何得到 0.0004?

分组交换 vs. 电路交换

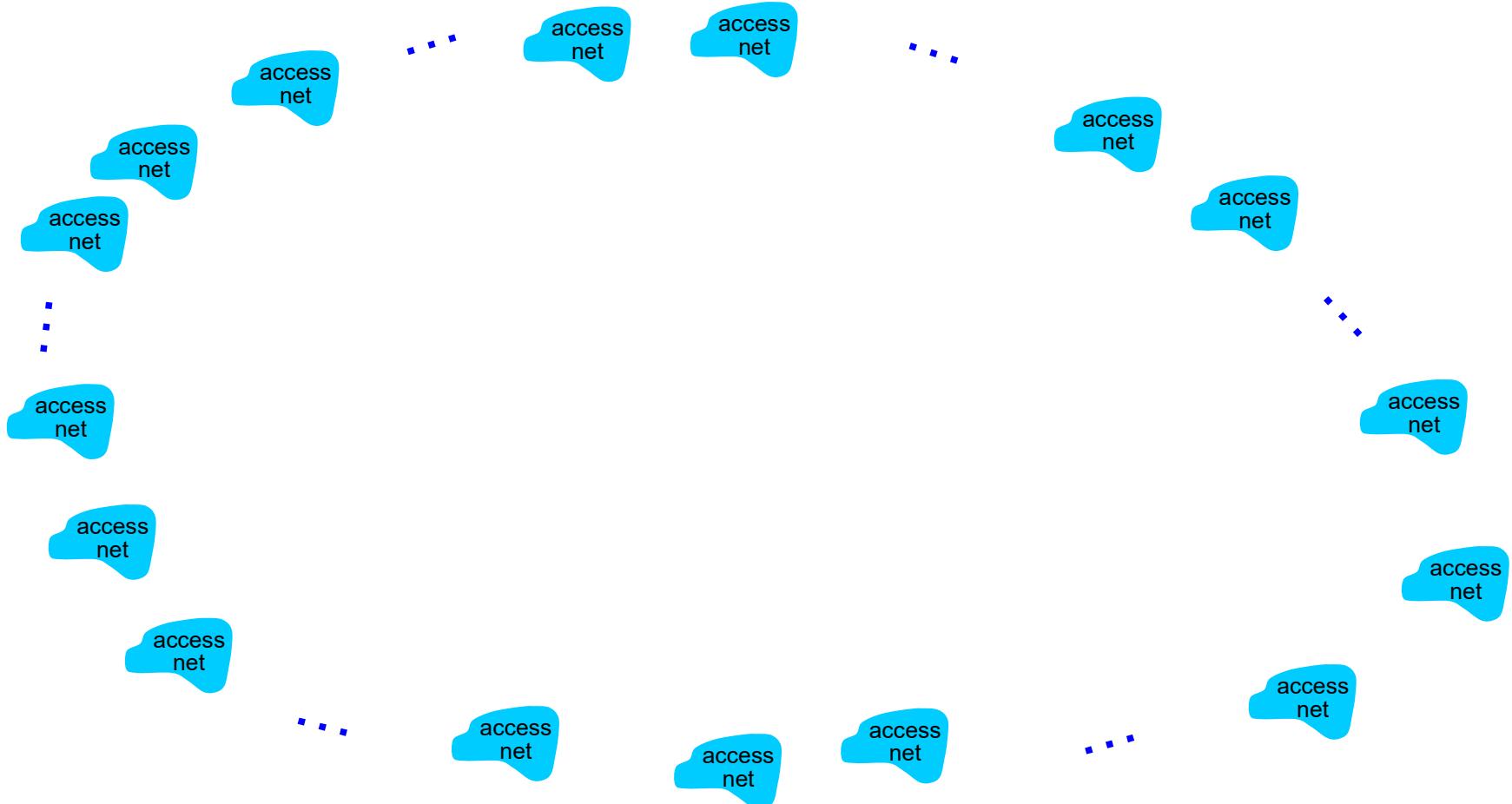
- **电路交换**: 通过呼叫过程预先分配资源，独占使用；通信质量好；效率不高
- **分组交换**:
 - 无呼叫过程，共享使用；利用率高，简单
 - 时延不确定，存在丢包
- 趋势：因特网使用分组交换，电话网使用电路交换，但向分组交换转变

因特网结构：网络的网络

- 主机通过接入**ISP** (Internet Service Provider) 连到因特网
 - 家庭的，公司的，学校的
- 接入ISP之间也必须互联
 - 以便任意主机间通信
- 因特网结构复杂
 - 受**经济和国家政策**影响

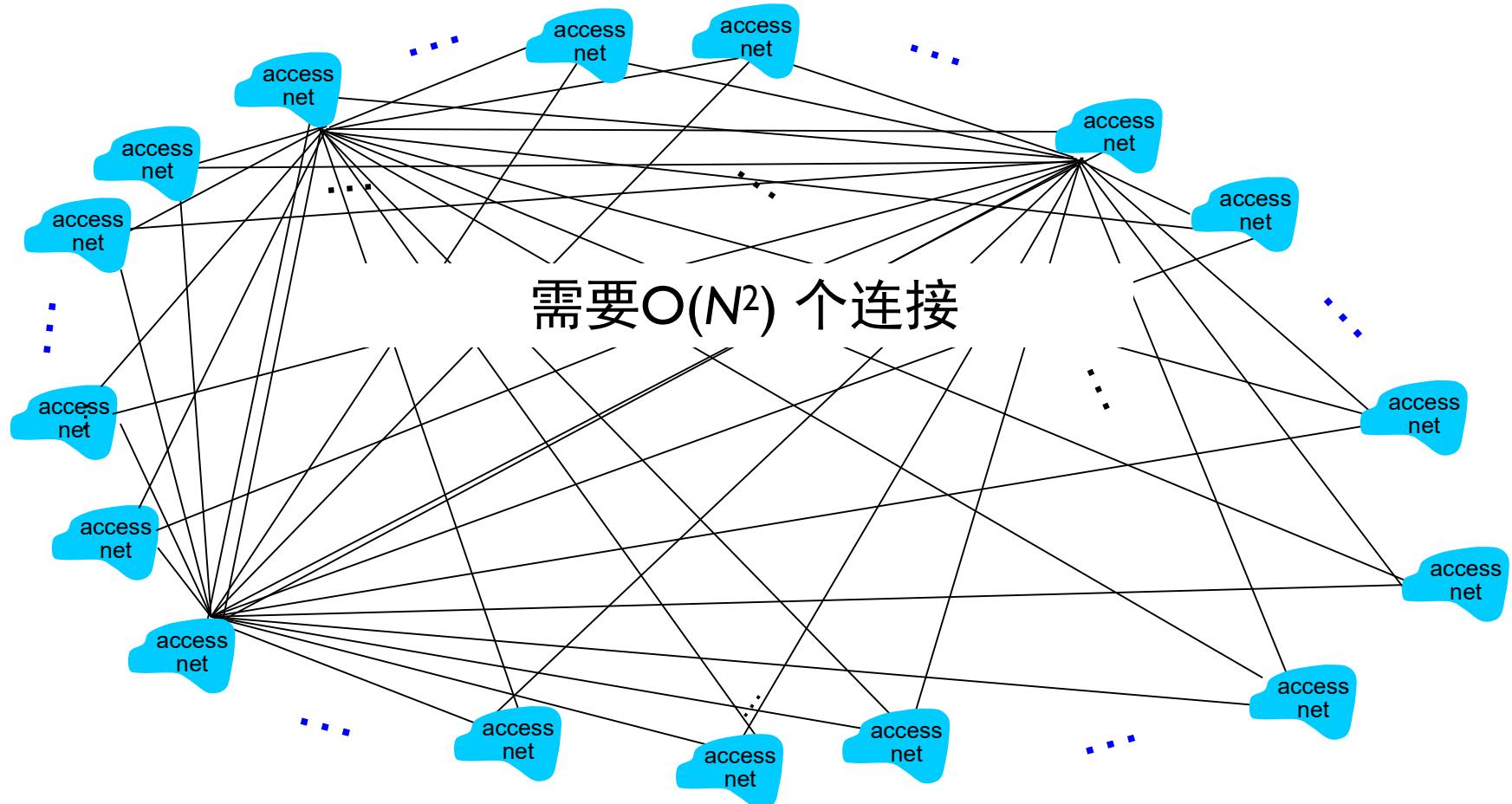
因特网结构：网络的网络

Q: 如果有多个接入ISP，如何连接它们？



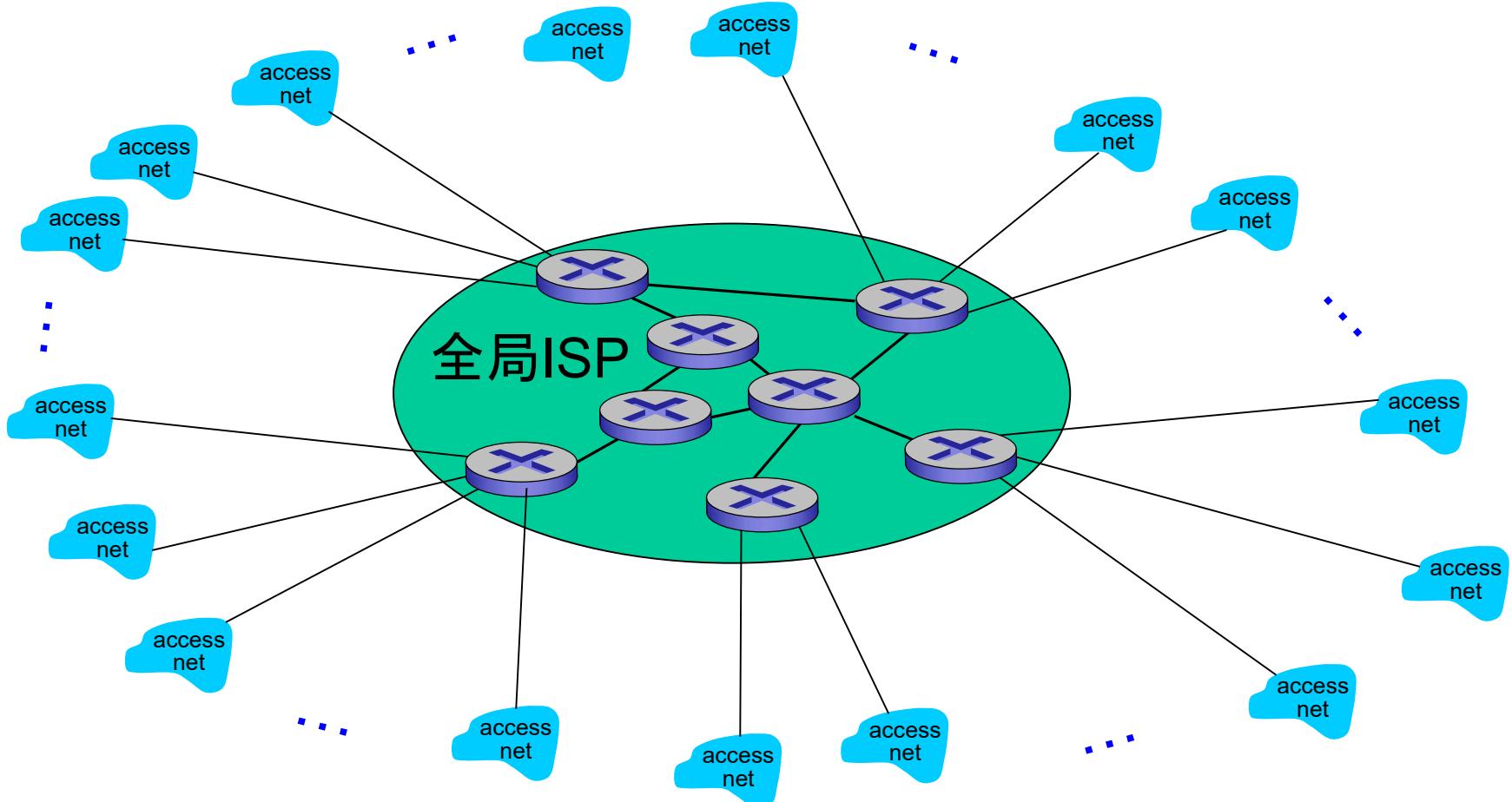
因特网结构：网络的网络

可选方案：全连接？



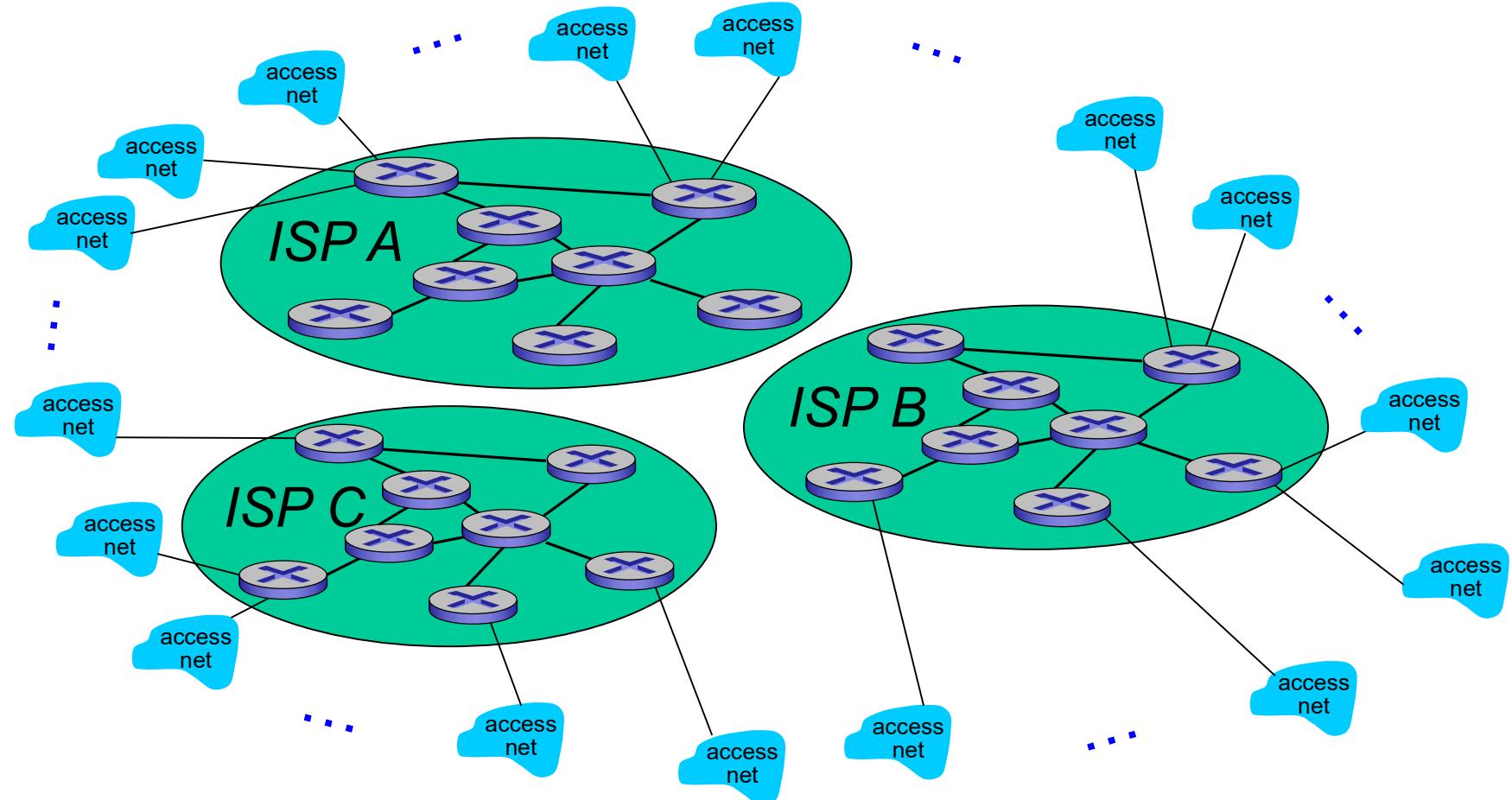
因特网结构：网络的网络

可选方案：都连接到一个全局ISP？



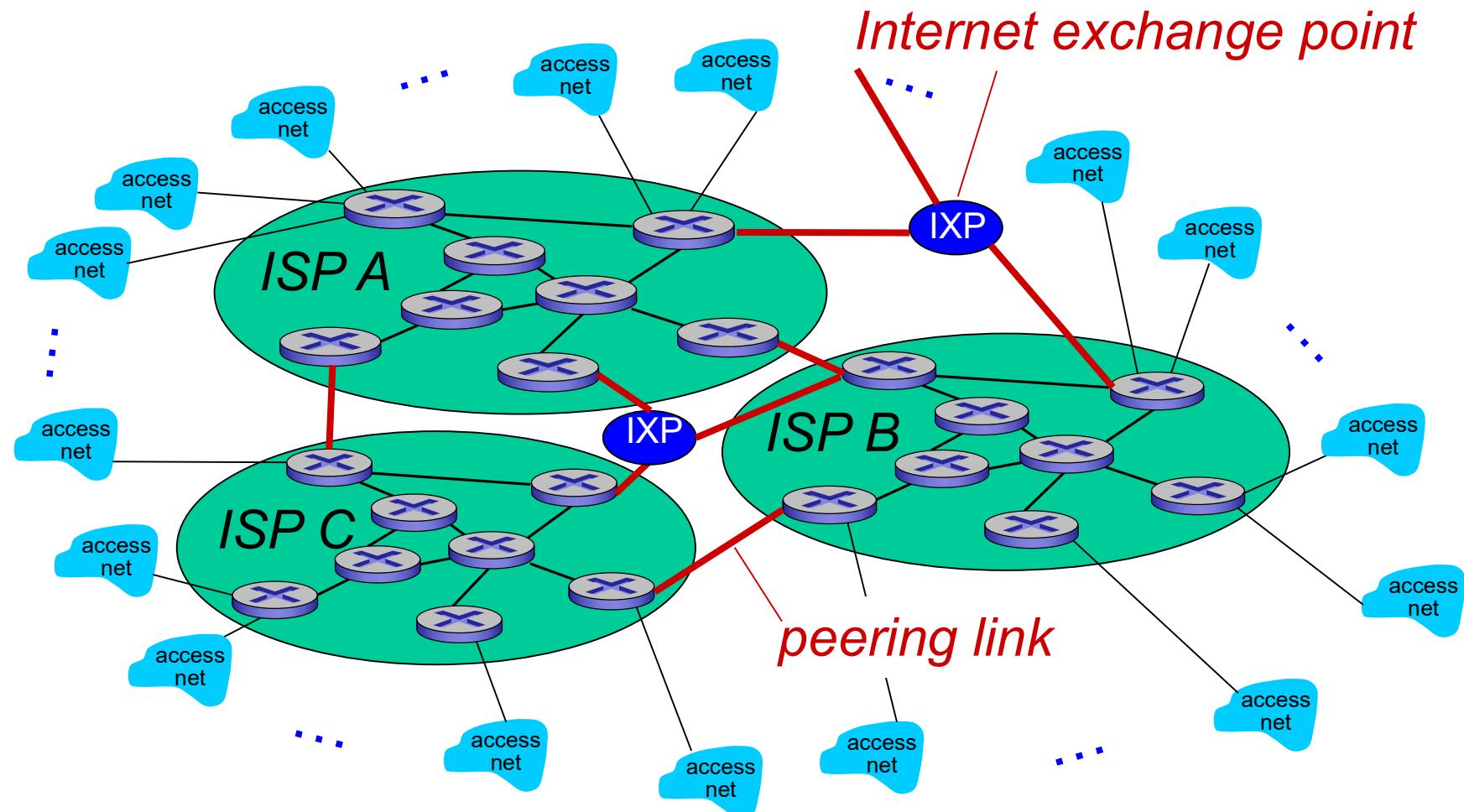
因特网结构：网络的网络

如果全局ISP很赚钱，就会出现竞争者....



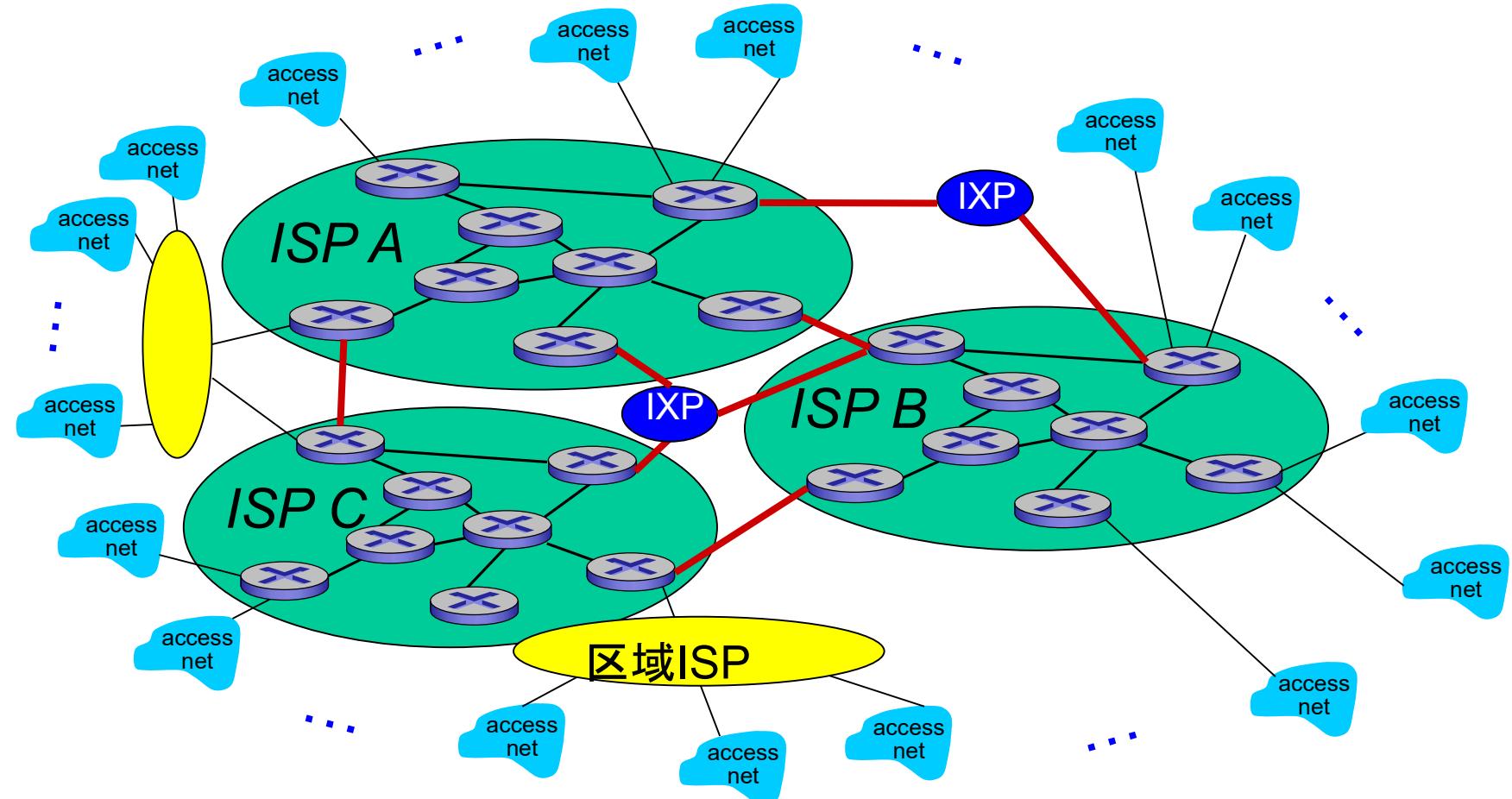
因特网结构：网络的网络

这些全局ISP也必须互联



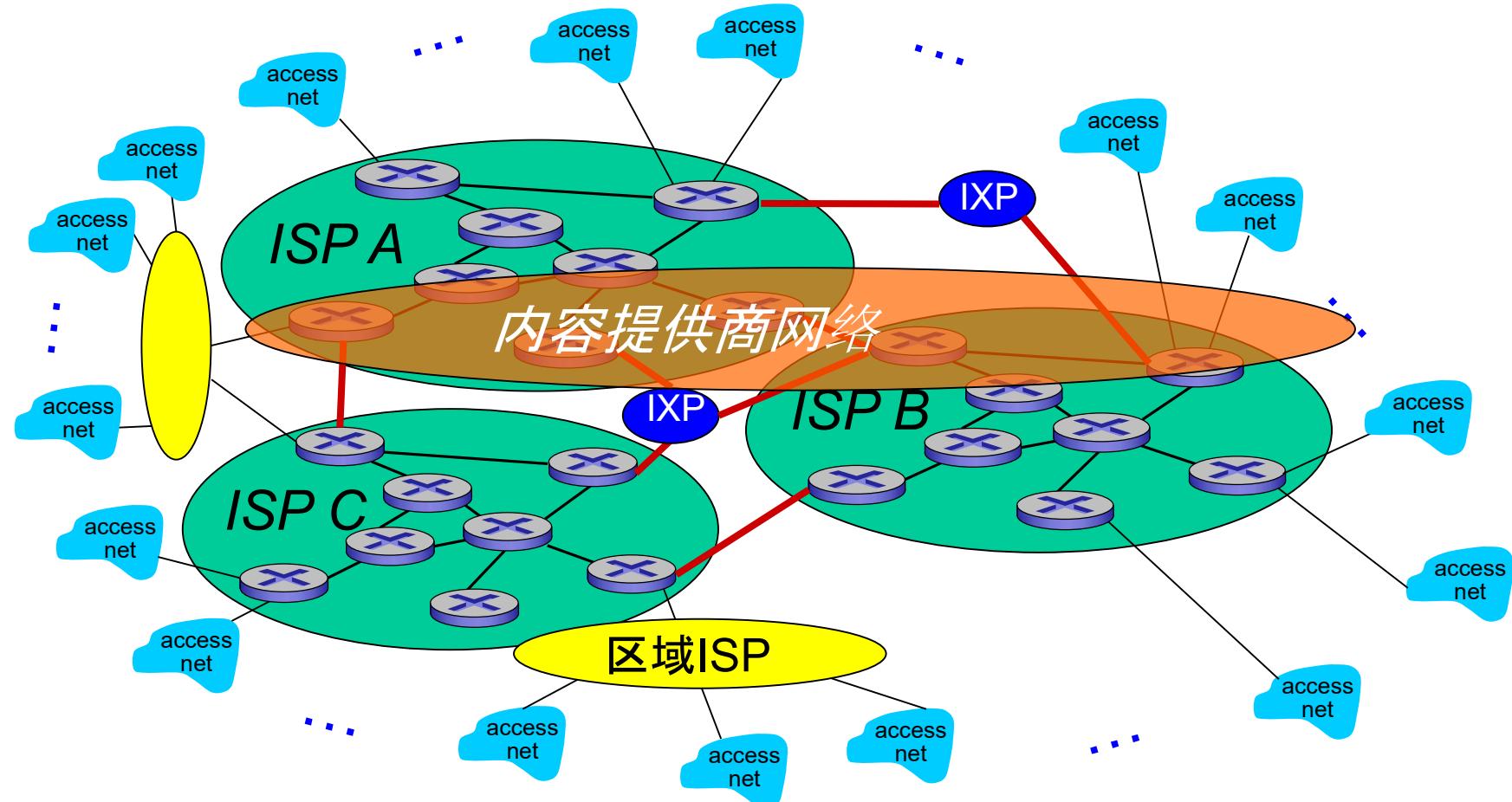
因特网结构：网络的网络

... 并会出现区域ISP，将接入ISP连接到全局ISP

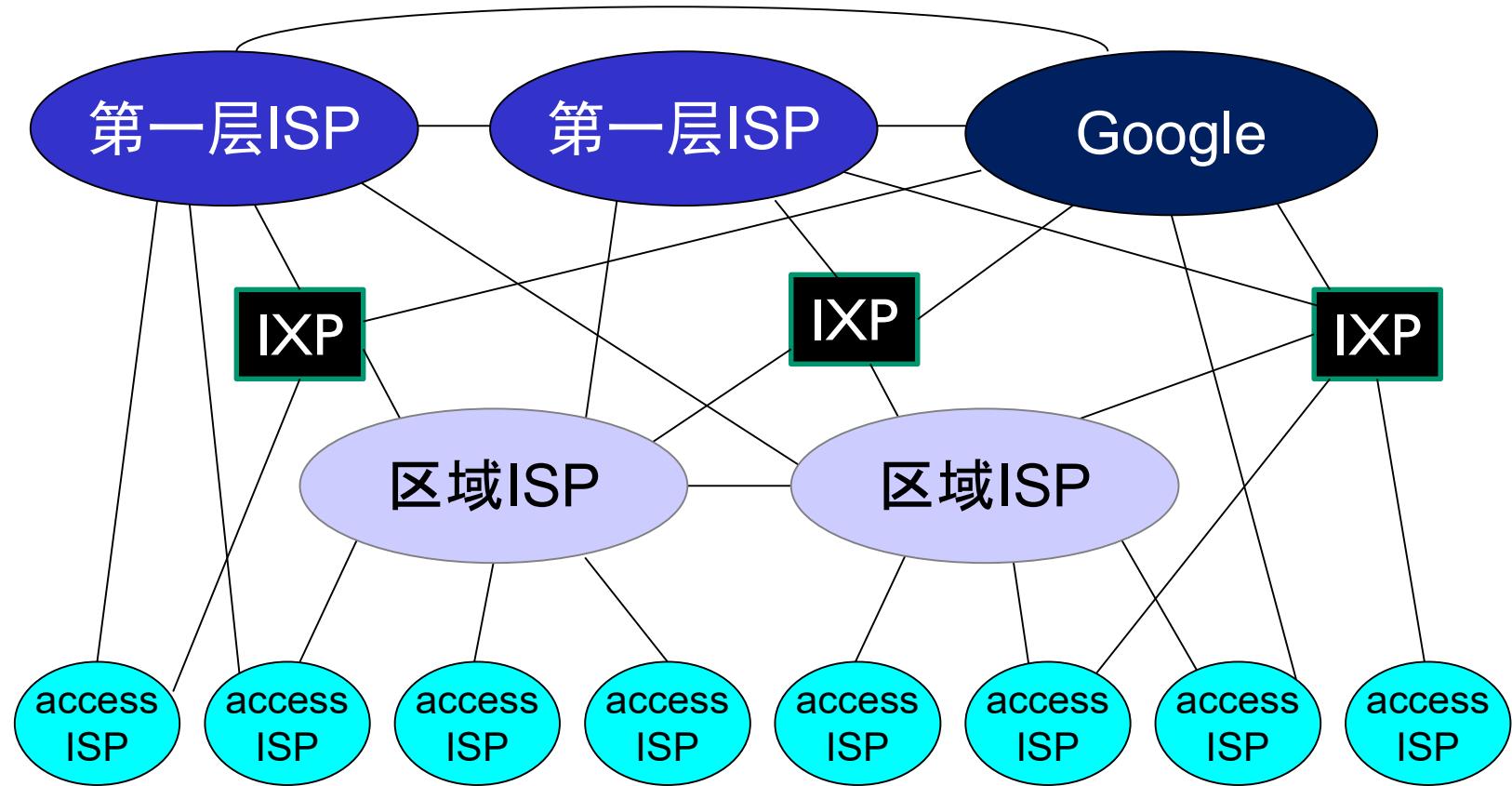


因特网结构：网络的网络

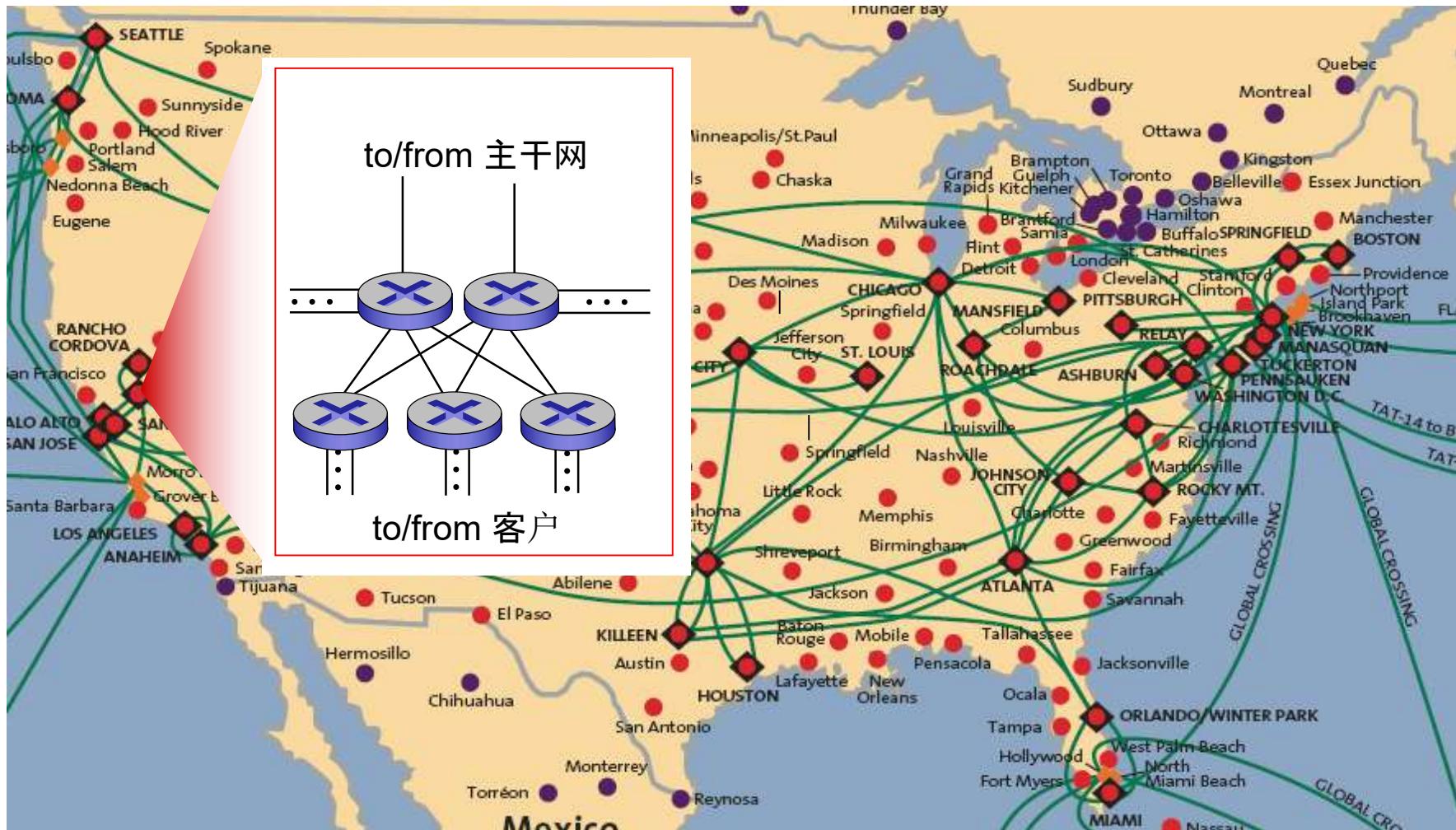
... 还会出现**内容提供商网络** (e.g., Google)，独立网络，减少向ISP支付的费用，并提供更靠近用户端的服务与内容



因特网结构：网络的网络



第一层ISP例子：美国Sprint网



第1章：计算机网络和因特网

I.1 什么是因特网?

I.2 网络边缘

- 端系统, 接入网, 链路

I.3 网络核心

- 分组交换, 电路交换, 网络结构

I.4 时延, 丢包, 吞吐量

I.5 协议分层, 服务模型

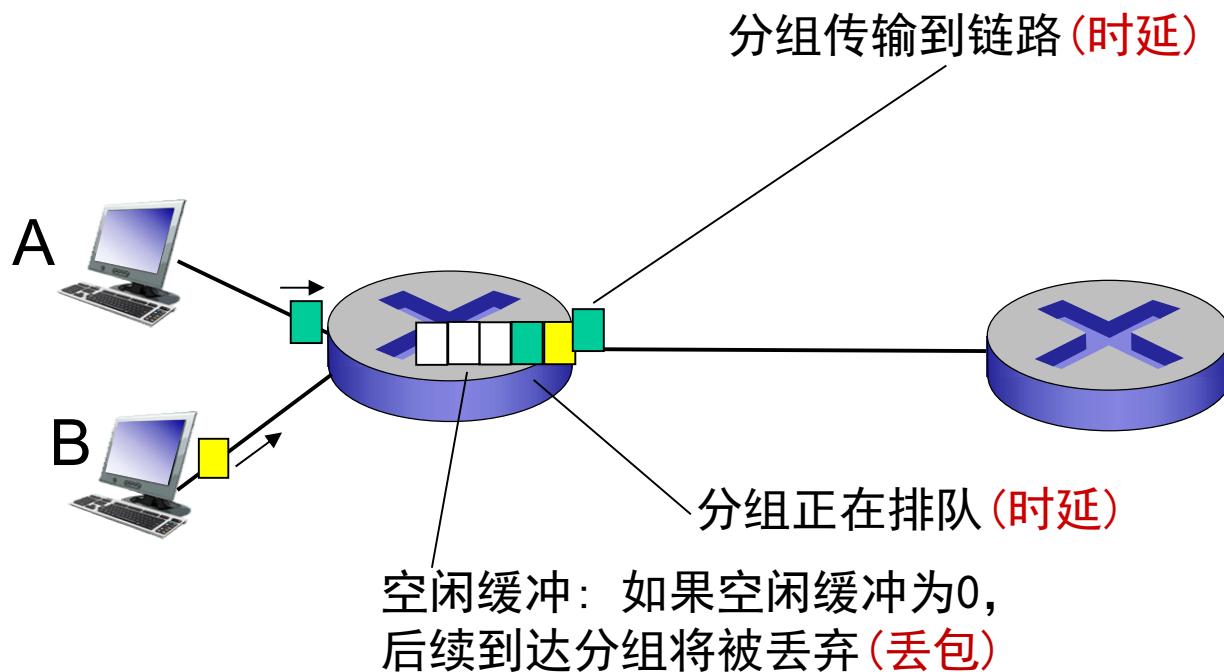
I.6 面向攻击的网络

I.7 计算机网络历史

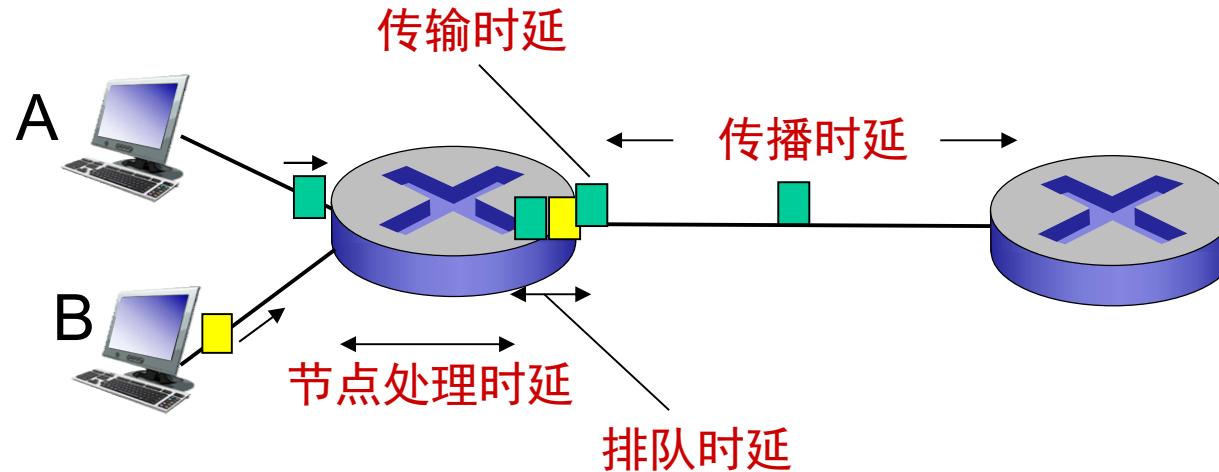
时延和丢包的原因

分组在路由器缓冲区排队

- 分组瞬时到达速率 > 输出链路速率
- 分组排队，等待转发



4种时延



$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

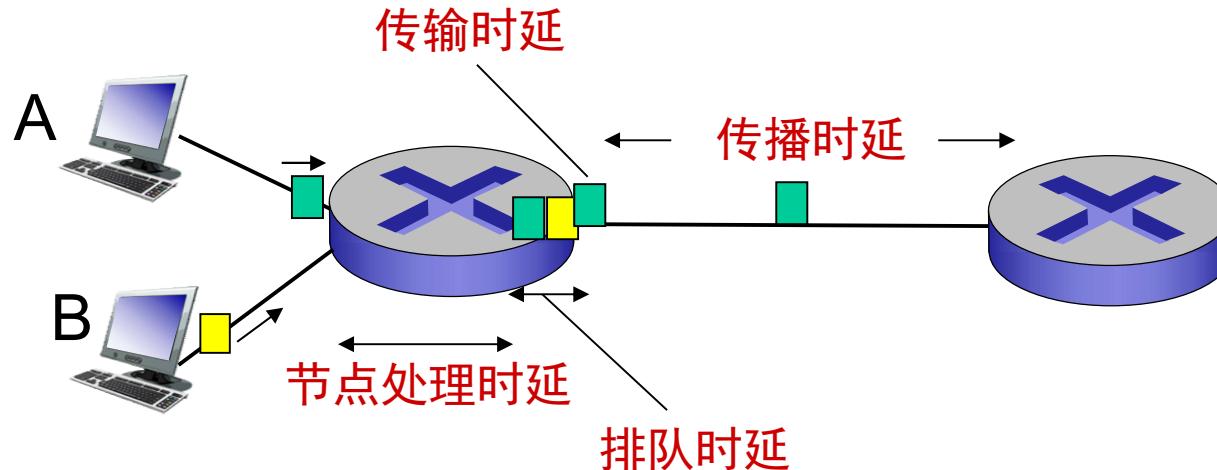
d_{proc} : 节点处理时延

- 检查比特错误
- 确定输出链路
- 通常 < 1毫秒

d_{queue} : 排队时延

- 链路传输前的等待时间
- 由路由器繁忙程度决定

4种时延类型



$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

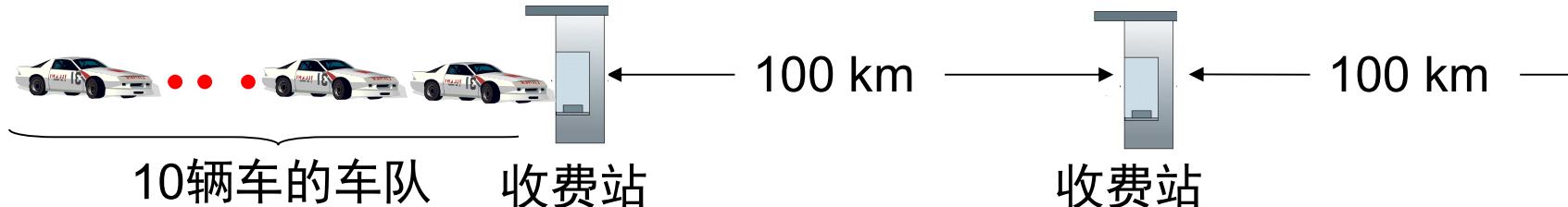
d_{trans} : 传输时延:

- L : 分组长度(bits)
- R : 链路带宽(bps)
- $d_{\text{trans}} = L/R$ ← 不相同 →

d_{prop} : 传播时延:

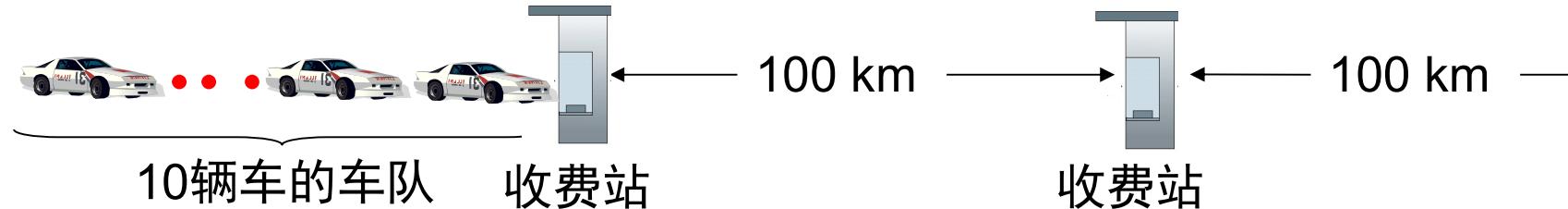
- d : 链路长度
- s : 传播速度($\sim 2 \times 10^8$ m/sec)
- $d_{\text{prop}} = d/s$

高速车队类比



- 车以100 km/h的速度“传播”
- 收费站需要12 sec服务一辆车(处理+传输时间)
- 车~比特; 车队~分组
- Q: 从现在到车队全部到达第二个收费站需要的时间?
- 车队通过第一个收费站的时间 = $12 * 10 = 120$ sec
- 最后一辆车“传播”到第二个收费站的时间: $100\text{km}/(100\text{km/h}) = 1\text{ h}$
- A: 62 minutes

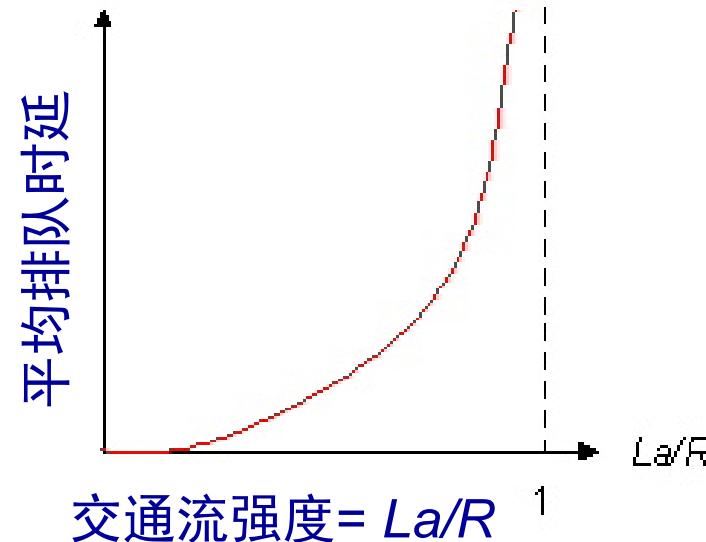
高速车队类比2



- 假设车以1000 km/h速度高速“传播”
- 收费站需要更多的时间(1 min)来服务一辆车
- Q: 当车到达第二收费站时, 是否有车还在第一个站排队?
 - A: Yes! 7 min后, 第一辆车到达第二收费站; 仍有3辆车在第一收费站(高速网络, 低速设备)

排队时延

- R : 链路带宽 (bps)
- L : 分组长度 (bits)
- a : 分组平均到达速率

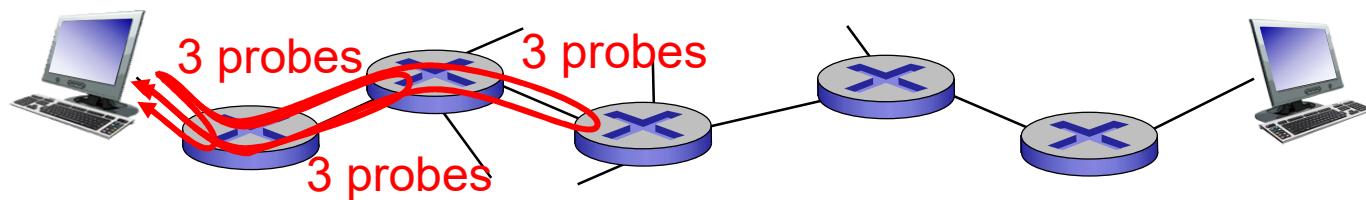


- $La/R \sim 0$: 平均排队时延小
- $La/R \rightarrow 1$: 平均排队时延大
- $La/R > 1$: 进来的多，出去的少，
平均排队时延无穷大!



时延测试程序

- **Tracert程序**: 提供从源主机到传输路径上每个路由器的时延。路径上的每一个路由器 i :
 - 源主机发送3个探测分组給 i
 - i 将返回响应分组给源主机
 - 源主机计算分组往返时延



时延测试程序

运行控制台程序cmd，输入：

tracert www.sina.com.cn

从本机到路径上每个路由器的3 次时延测量

```
C:\Users\lenovo>tracert www.sina.com.cn

通过最多 30 个跃点跟踪
到 www.sinainfo.cn.w.alikunlun.com [119.167.132.12] 的路由：

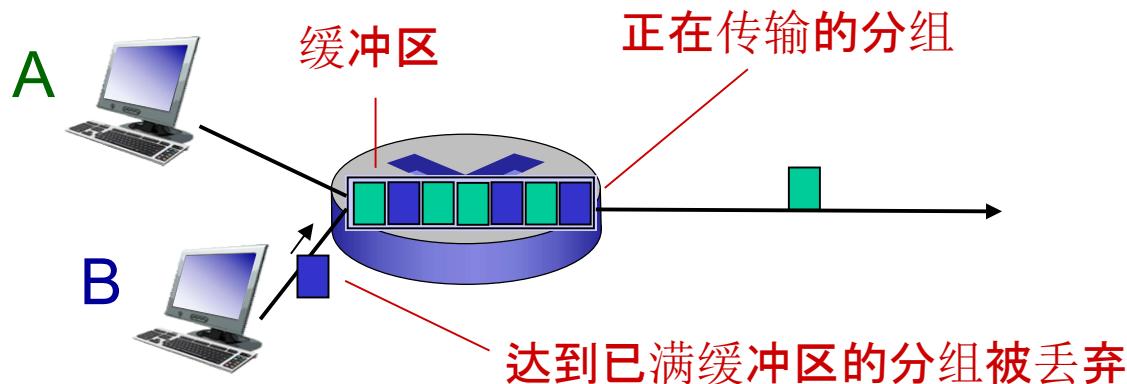
 1  <1 毫秒  <1 毫秒  <1 毫秒 192.168.1.1
 2  9 ms      2 ms      1 ms    219.230.64.1
 3  18 ms     3 ms      1 ms    202.119.95.1
 4  1 ms       1 ms      1 ms    192.168.72.2
 5  2 ms       2 ms      2 ms    221.6.10.209
 6  4 ms       5 ms      6 ms    122.96.66.21
 7  12 ms      8 ms      9 ms    221.6.9.129
 8  18 ms      17 ms     19 ms    219.158.10.229
 9  *          *          16 ms    27.221.86.206
10  *          *          *        请求超时。
11  16 ms      16 ms     16 ms    27.221.4.162
12  17 ms      17 ms     18 ms    119.167.132.12

跟踪完成。
```

请求超时（分组丢失或路由器未回复）

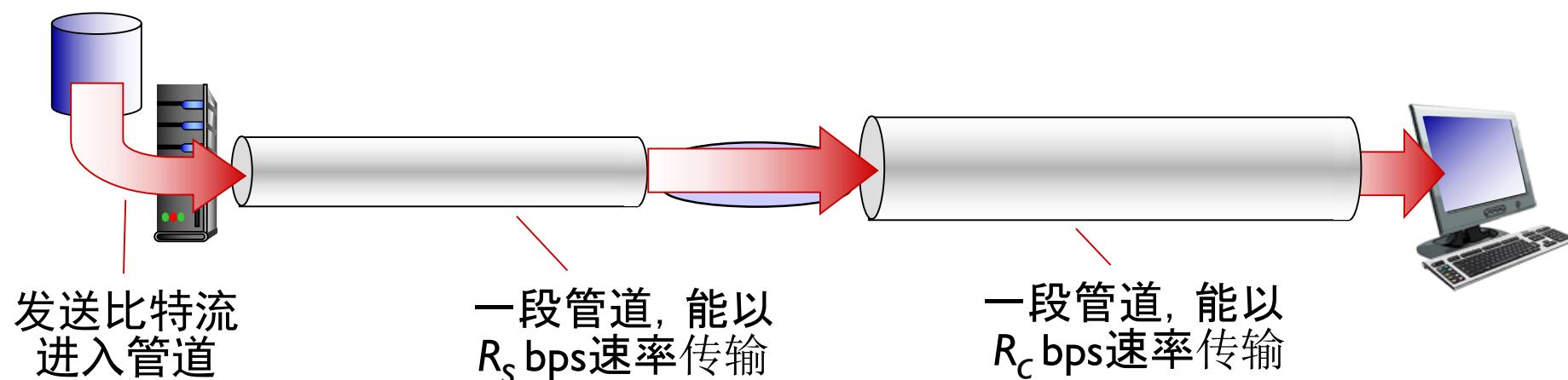
丢包

- 路由器缓冲区容量有限
- 到达已满缓冲区的分组将被丢弃
- 丢弃分组可能将由前一个路由器或源主机重传，或者不重传



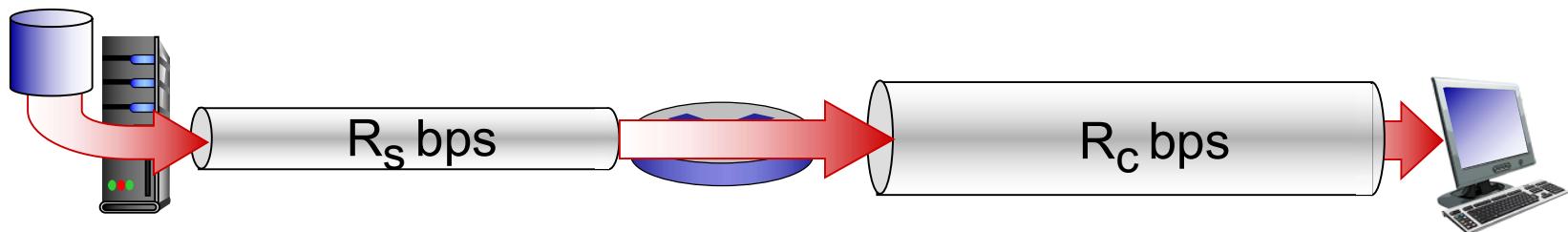
吞吐量

- 吞吐量 (throughput): 端到端的比特传输速率
 - 瞬时吞吐量
 - 平均吞吐量

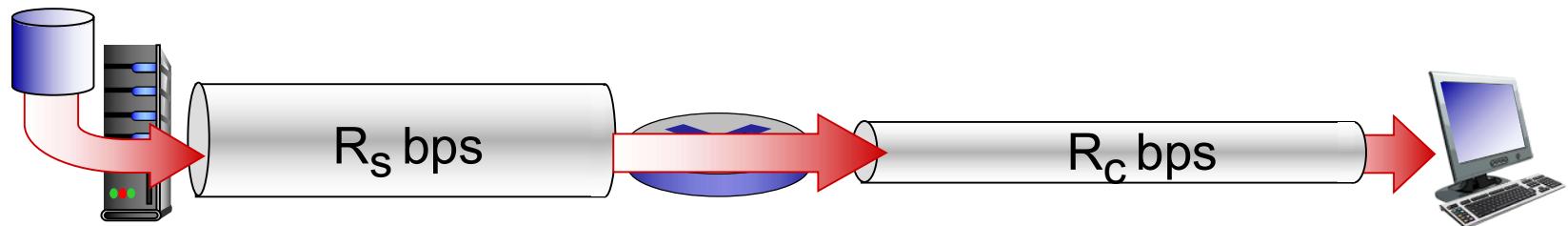


吞吐量

- $R_s < R_c$ 平均端到端吞吐量是多少?



- $R_s > R_c$ 平均端到端吞吐量是多少?

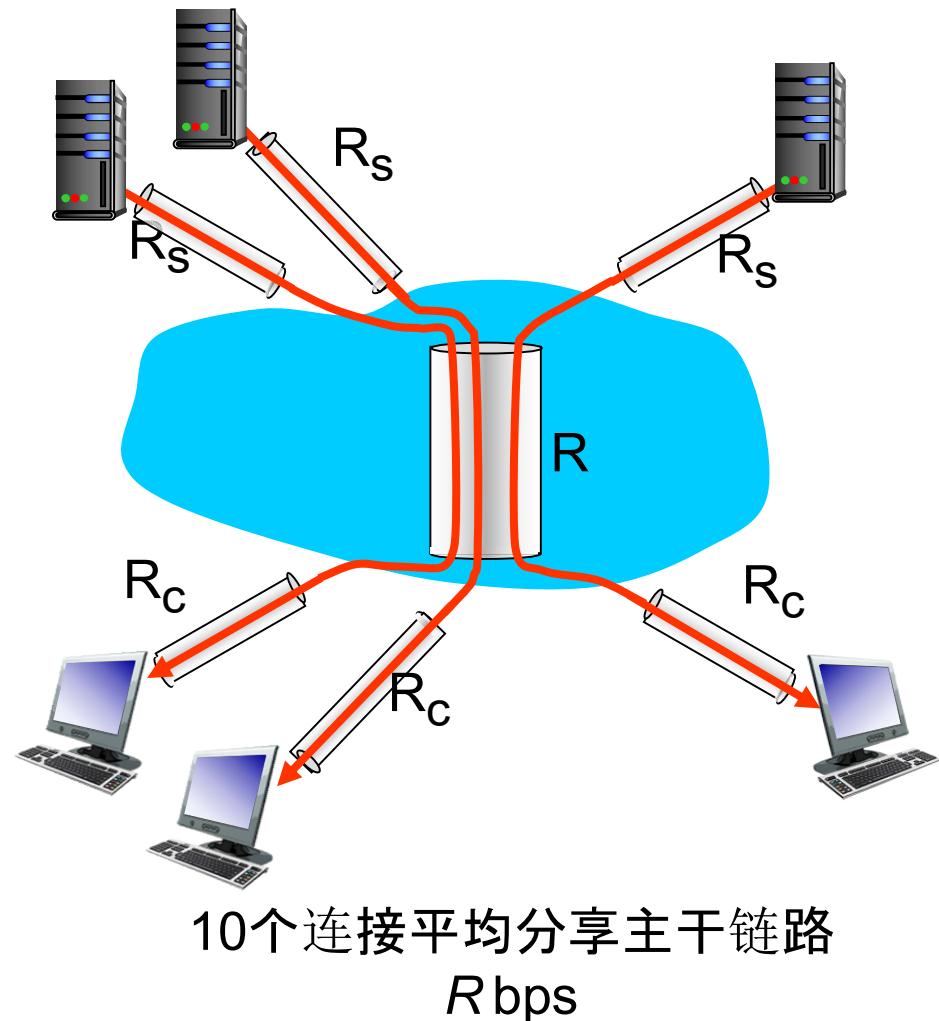


瓶颈链路

约束端到端吞吐量的一段链路

吞吐量：因特网场景

- 每个连接的端到端吞吐量： $\min(R_c, R_s, R/I/O)$
- 实际场景中: R_c 或 R_s 是瓶颈链路



第1章：计算机网络和因特网

I.1 什么是因特网?

I.2 网络边缘

- 端系统, 接入网, 链路

I.3 网络核心

- 分组交换, 电路交换, 网络结构

I.4 时延, 丢包, 吞吐量

I.5 协议分层, 服务模型

I.6 面向攻击的网络

I.7 计算机网络历史

协议分层

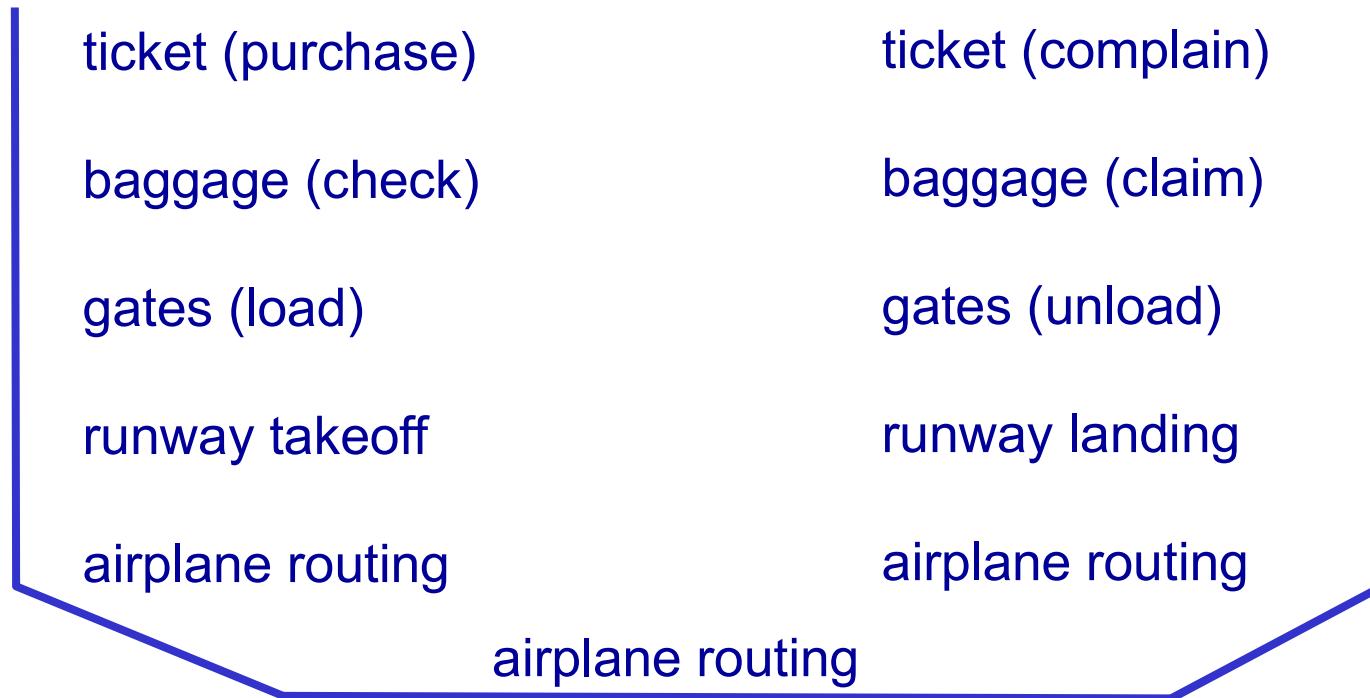
网络很复杂，包括：

- 主机
- 路由器
- 各种链路
- 各种应用程序
- 各种协议

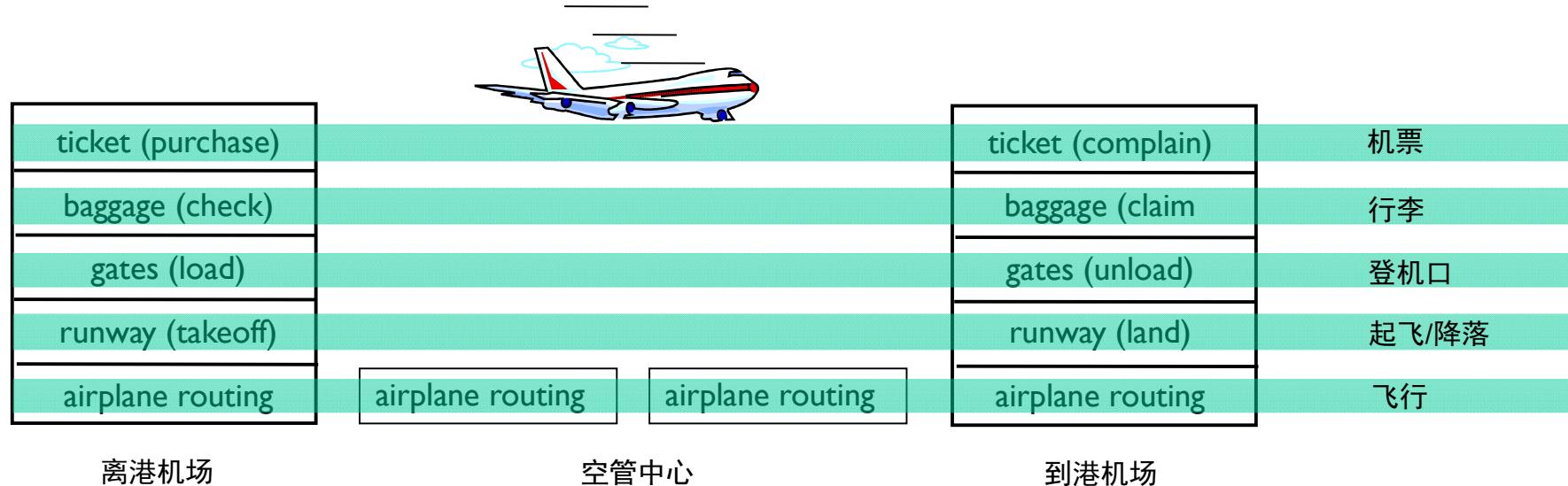
Question:

如何组织与构建因特网？

航空旅行的分层实现



航空旅行的分层实现



分层实现：每一层实现一种服务：

- 动作由本层实现
- 依靠下一层提供的服务

分层原因

实现复杂的系统：

- 划分若干较小且相对独立的部分
- 模块化便于维护与更新
 - 某一层的改变不影响其他层
 - e.g., 更改登机程序

因特网协议栈 (TCP/IP协议栈)

- **应用层**: 支持网络应用程序
 - FTP, SMTP, HTTP
- **传输层**: 进程间的数据传输
 - TCP, UDP
- **网络层**: 从源主机到目的主机的分组寻路
 - IP, 一系列路由协议
- **链路层**: 相邻网络节点间的数据传输
 - Ethernet, 802.11(WiFi), PPP
- **物理层**: 在物理媒体上上传输比特流

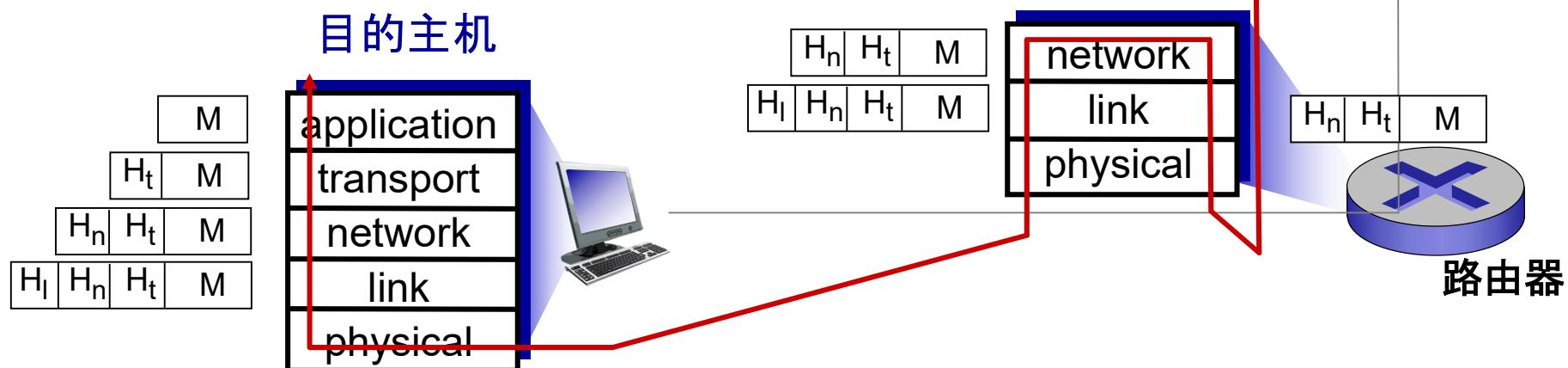
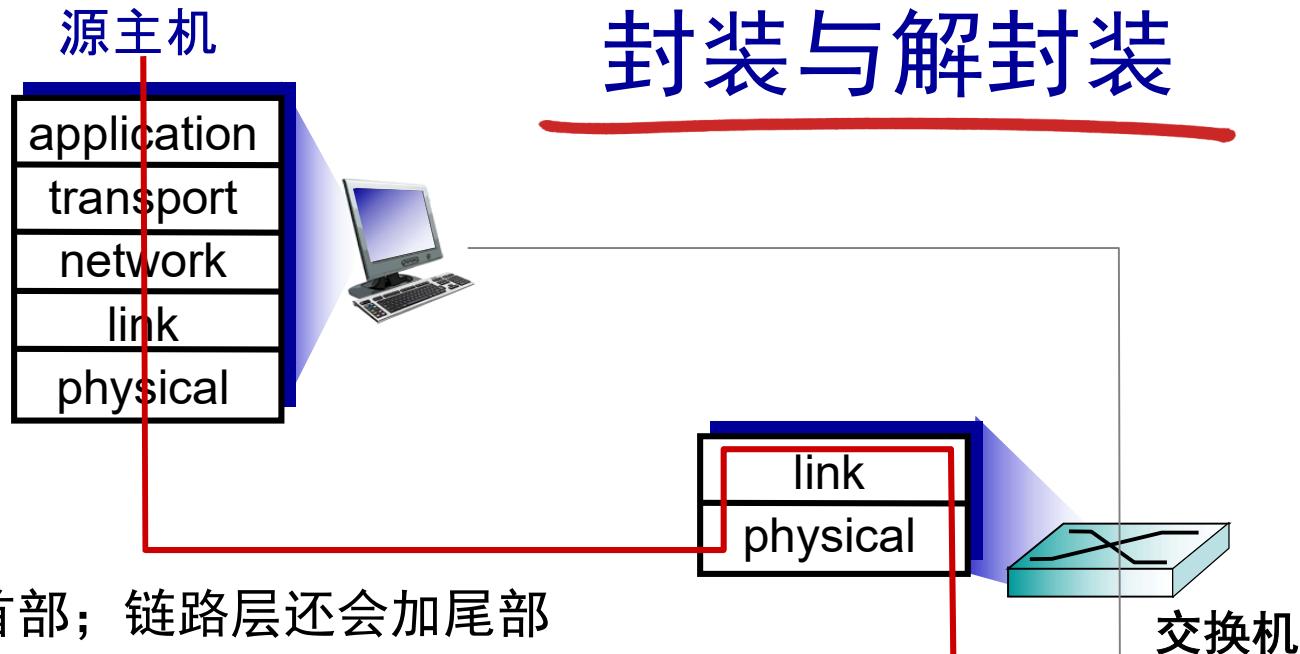
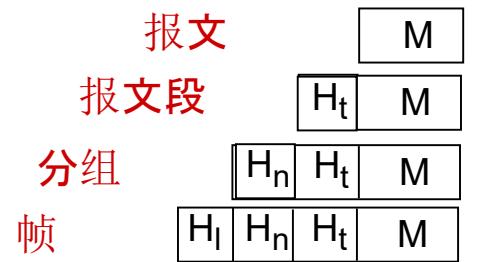


ISO/OSI 参考模型

- 网络体系结构的国标，但复杂
- 表示层：允许应用程序解释数据：例如，加密解密，压缩解压缩，特定机器数据表示等
- 会话层：通信同步，设立检查点，通信回滚
- 因特网没有这两层！
 - 如果需要这些服务，由应用程序实现



封装与解封装



第1章：计算机网络和因特网

I.1 什么是因特网?

I.2 网络边缘

- 端系统, 接入网, 链路

I.3 网络核心

- 分组交换, 电路交换, 网络结构

I.4 时延, 丢包, 吞吐量

I.5 协议分层, 服务模型

I.6 面向攻击的网络

I.7 计算机网络历史

网络安全

- 研究的内容：
 - 黑客如何攻击网络
 - 我们如何对抗攻击
 - 我们如何设计攻击免疫的网络结构
- 起初因特网未考虑太多安全问题：
 - 初始愿景：一群相互信任的主机连接到一个透明的网络☺
 - 协议设计者一直在打补丁
 - 所有层次都应考虑网络安全！

黑客: 将恶意软件植入主机

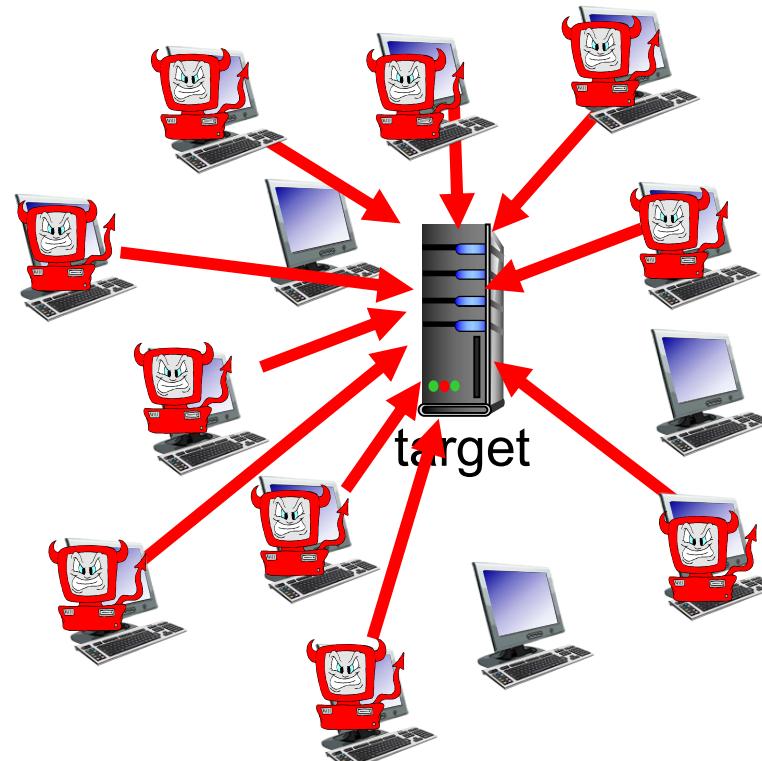
- 间谍软件: 记录键盘输入、访问的网站等, 并上传到指定设备
- 恶意软件:
 - 病毒: 程序片段, 不能独立运行, 插入其他程序中(如 e-mail 附件), 通过其他程序的运行来自我复制
 - 蠕虫: 独立程序, 通过独立运行来自我复制
- 被感染主机被控制, 形成僵尸网络, 发动攻击。
DDoS 攻击

黑客：攻击服务器、网络

拒绝服务攻击 Denial of Service (DoS): 通过构造大量的假的通信占用资源（如服务器和网络带宽），使正常用户得不到服务

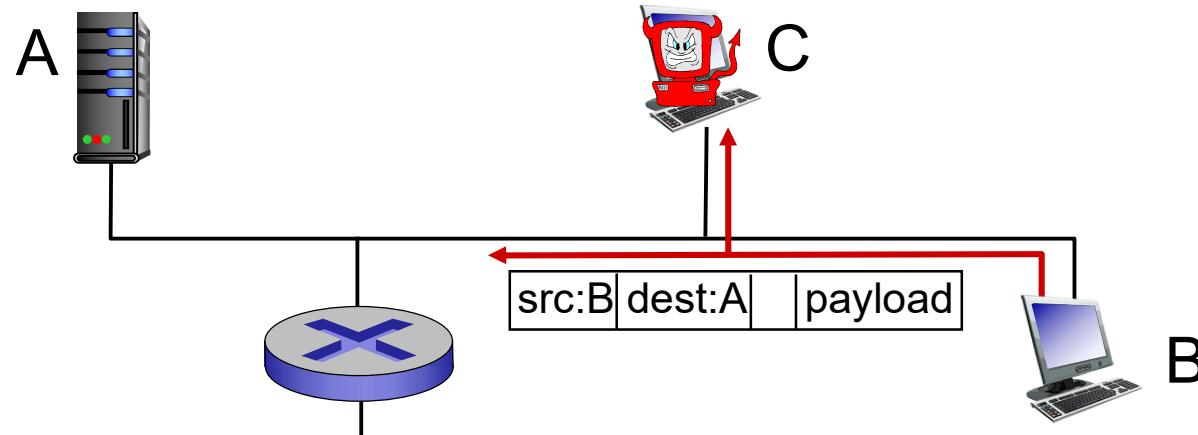
Distributed DoS (DDoS):

1. 选择目标
2. 入侵大量主机(僵尸网络)
3. 操控僵尸网络向目标发送分组



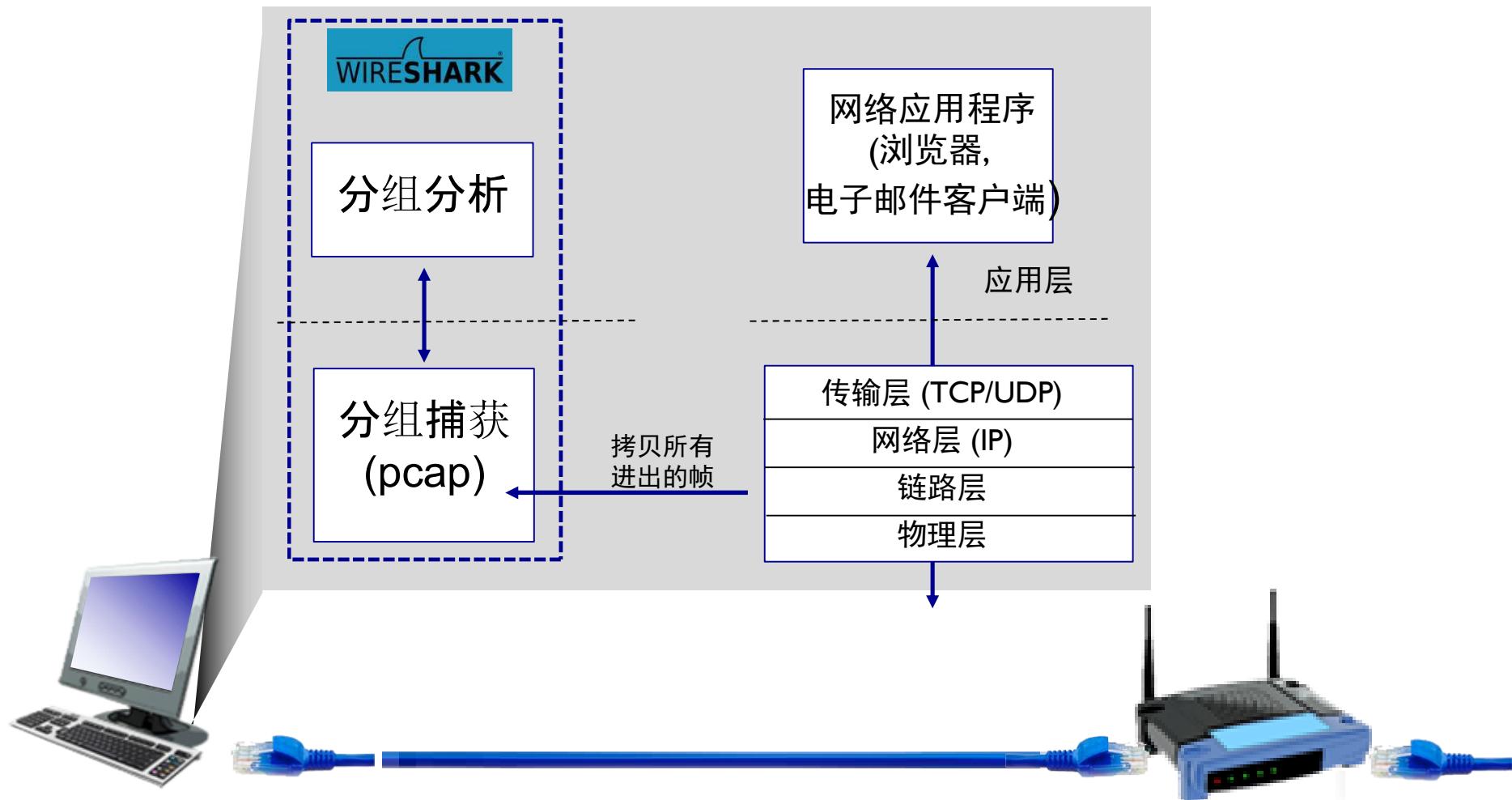
黑客：嗅探分组

- 广播媒体(共享以太网, 无线网)
- 网络接口获取经过的所有分组 (e.g., 包含密码!)



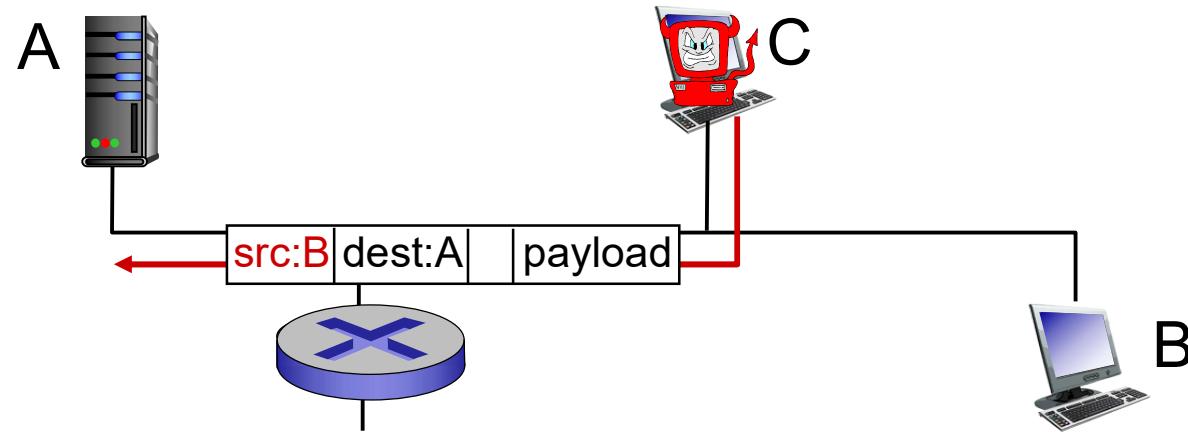
- Wireshark: 一个免费的分组嗅探软件

Wireshark



黑客：伪造地址

IP地址欺骗：发送含假源地址的分组



... 更多网络安全，见第8章

第1章：计算机网络和因特网

I.1 什么是因特网?

I.2 网络边缘

- 端系统, 接入网, 链路

I.3 网络核心

- 分组交换, 电路交换, 网络结构

I.4 时延, 丢包, 吞吐量

I.5 协议分层, 服务模型

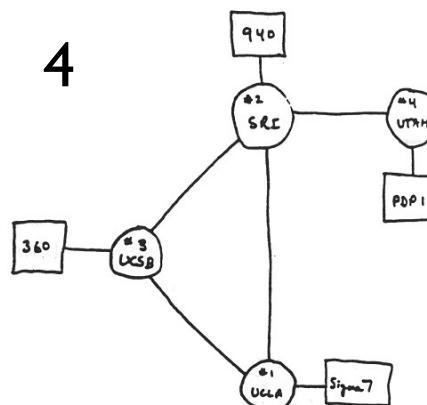
I.6 面向攻击的网络

I.7 计算机网络历史

因特网历史

1961-1972: 早期的分组交换

- 1961: Kleinrock – 用排队理论验证了分组交换高效性
- 1964: Baran – 将分组交换用于军用网络
- 1967: 美国国防部的高级研究计划署ARPA提出了ARPAnet设想
- 1969: ARPAnet诞生，4个节点
- 1972:
 - NCP (Network Control Protocol) 首个主机间协议
 - 首个e-mail程序
 - ARPAnet 拥有15个节点



THE ARPANET NETWORK

因特网历史

1972-1980: 网络互联，专用网络

- 1970: 夏威夷的ALOHAnet卫星网络
- 1974: Cerf and Kahn – 提出网络互联的体系结构
- 1976: Ethernet网
- 70年代后期: 专用网络: DECnet, SNA, XNA; 固定长度分组交换 (ATM 前身)
- 1979: ARPAnet拥有200个节点

因特网历史

1980-1990: 新的协议, 网络增长

- 1983: 部署TCP/IP
- 1982: SMTP协议
- 1983: DNS协议
- 1985: FTP协议
- 1988: TCP拥塞控制
- 新的大型网络: CSnet, NSFnet, Minitel(法国)
- 100,000个节点

因特网历史

1990, 2000年代: 商业化, 互联网, 新的app

- 1990年代早期: ARPAnet退役
- 1991: NSFnet开始用于商业 (1995年退役)
- 1990年代早期: 万维网WWW
 - 超文本[Bush 1945, Nelson 1960's]
 - HTML, HTTP: Berners-Lee
 - 1990年代晚期: WWW商业化
- 1990年代晚期 – 2000年代:
 - 即时通信软件, 文件共享
 - 网络安全成热点
 - 5千万主机, 超过1亿用户
 - 主干网达到Gbps速度

因特网历史

2005-现在

- 几十亿个设备接入
- 大量的高速宽带接入与无线接入
- 在线社交网络:
 - Facebook和微博
- 内容提供商(Google, Microsoft) 构建自己的网络
 - 绕开因特网
 - 提供快速的内容搜索, 视频, email等服务
- 金融机构、大学、企业开展云计算服务(分布式计算+负载均衡等, e.g., Amazon EC2)

补充习题

1. 什么是面向连接和无连接？简述其特点。
2. 什么是多路复用？常分为哪两种类型。
3. 简述电路交换和分组交换特点及工作过程。
4. 简述同轴电缆的两种类型。什么是基带传输和宽带传输？
5. 简述光纤的两种类型及传输系统的构成特点。
6. 什么是协议？分层的服务模型？
7. 简述分层的特点和分层后数据的传递过程。
8. 网络按拓扑结构和覆盖范围划分几种类型？简述其特点。
9. 什么是服务器程序？什么是客户机程序？服务器程序请求和接收来自客户机程序的服务吗？

书上第1章：复习题 11, 23, 24, 25；习题 8, 31