

# Computer Networking

A Top-Down Approach

## 第一章 计算机网络和因特网

### Chapter 1 Computer Networks and the Internet

□ 电子科技大学计算机科学与工程学院

# 第一章：大纲

## \*1.1 什么是因特网

\*1.2 网络边缘

\*1.3 网络核心

\*1.4 分组交换网中的时延、丢包和吞吐量

\*1.5 协议层次和它们的服务模型

1.6 攻击威胁下的网络

1.7 计算机网络和因特网的历史

## 1.1 什么是因特网

■ The Internet is a **computer network** that **interconnects** millions of **computing devices** throughout the world.

□ 什么是computer network?

□ 怎样interconnect?

□ 有哪些是computing devices?

### • “计算机网络”定义:

两台以上具有独立操作系统的计算机通过某些介质连接成的相互共享软硬件资源的集合体。

## 1.1.1 什么是Internet: 具体构成描述

*Internet: “由网络构成的网络”*

- 对于Internet，无法给出一个明确的统一的定义
- 无论是从它的硬件和软件组件上看；还是从它所提供的服务上看，都很复杂

从其*具体构成*和*提供服务*两方面来描述它

# 1.1.1 什么是Internet: 具体构成描述

## ■ 主机hosts或端系统end-systems:

数以亿计的计算设备互连, 例如

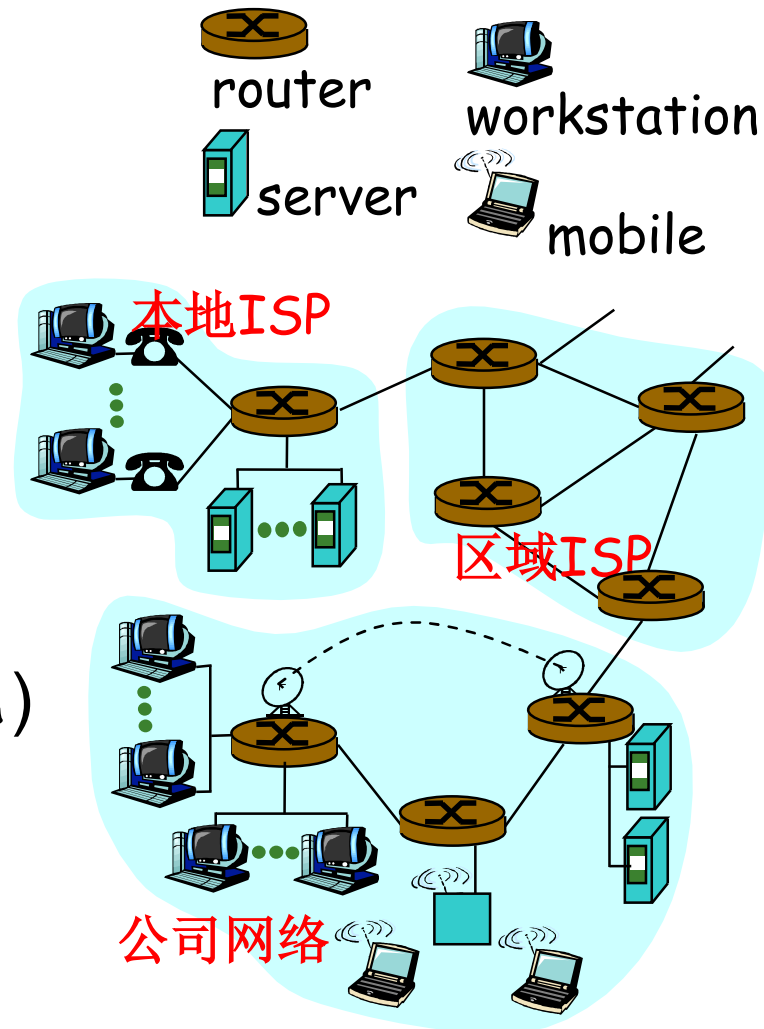
- 主机-PCs (计算机), workstations (工作站), servers (服务器)
- 端系统-PDAs, phones (电话), 家用电器等

运行着各种网络应用程序

## ■ 路由器和交换机: 转发分组 (包)

## ■ 通信链路

- 双绞线、光纤、无线电频谱、卫星
- 传输速率 = 带宽 bps



## 1.1.2 什么是Internet: 服务上描述

■ The Internet is an *infrastructure* that provides *services to applications*.

□ 什么是infrastructure?

□ 什么是services to applications?

## 1.1.2 什么是Internet: 服务上描述

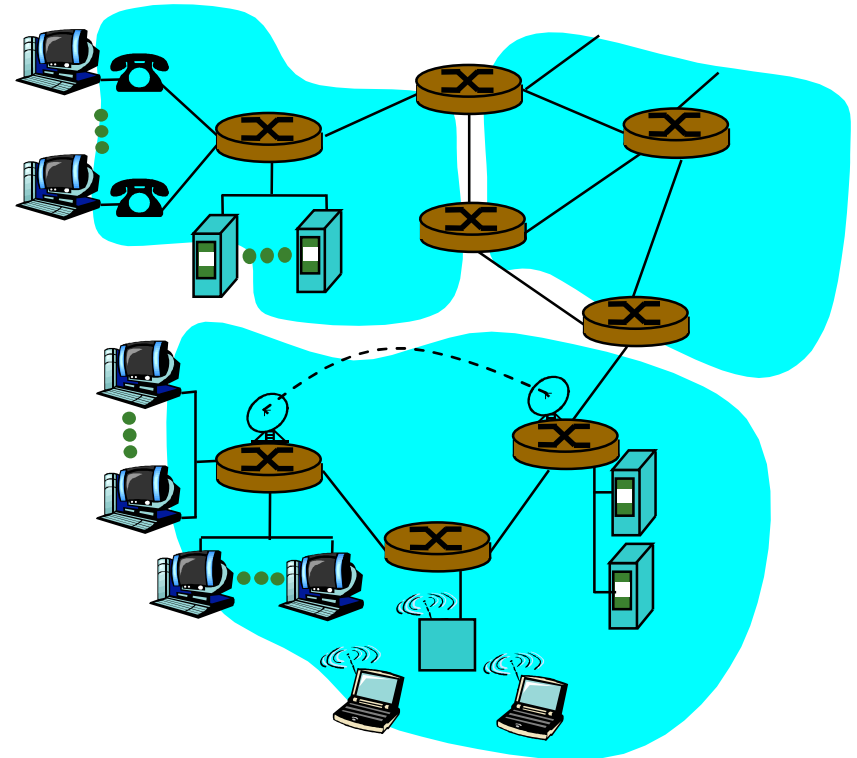
### ■ 通信基础设施

允许终端系统上运行分布式应用程序，  
并彼此交换数据：

- ❑ Web, email, games, e-commerce, database, VOIP, P2P file sharing

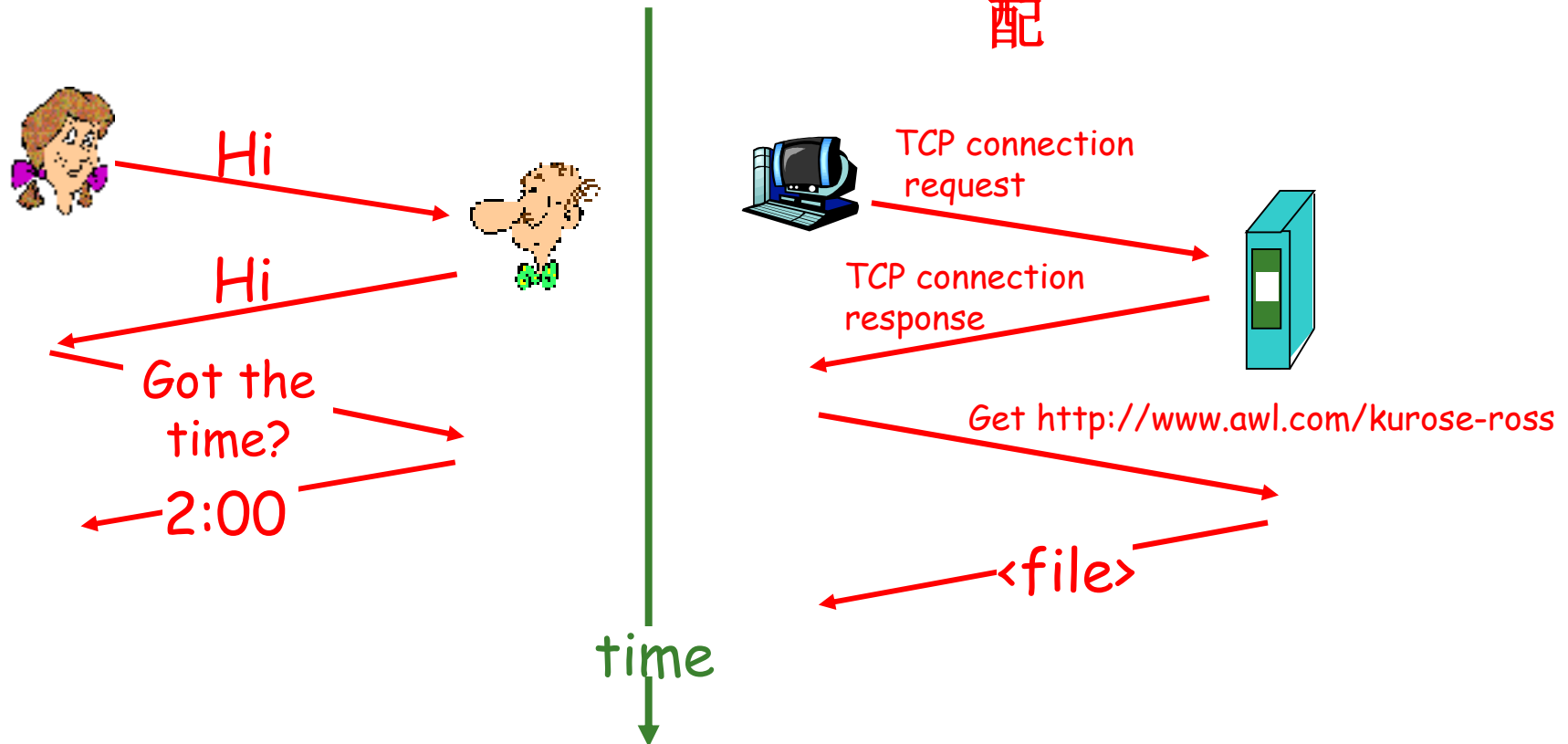
### ■ 为分布式应用程序提供的通信服务

- ❑ 无连接服务connectionless
- ❑ 面向连接服务connection-oriented
- ❑ 不提供（发送端到接收端）数据传递时间保证的服务



# 1.1.3 什么是协议

## 人类会话协议与网络协议—实例



网络协议:

计算机代替人

**Internet**中所有的通信活动均由协议来支配

Q: Other human protocols?



## 1.1.3 什么是协议

### ■ 协议：

□ 在两个或多个**通信实体**之间交换的**报文格式和次序**，  
以及在报文传输和/或接收或其他事件方面所采取的  
**动作**

■ A Protocol defines the **format** and the **order** of messages exchanged between two or more **communicating entities**, as well as the **actions** taken on the transmission and/or receipt of a message or other event.

■ **协议的基本要素：语法、语义和同步**

# Internet标准及文档

- **协议** 控制发送和接收消息,
  - e.g., TCP, IP, HTTP, FTP, DNS, SMTP
- **Internet标准**
  - IETF: Internet Engineering Task Force  
因特网工程任务组
  - **RFC: Request for comments**  
请求评论

# 第一章 大纲

1.1 什么是因特网

1.2 网络边缘

1.3 网络核心

1.4 分组交换网中的时延、丢包和吞吐量

1.5 协议层次和它们的服务模型

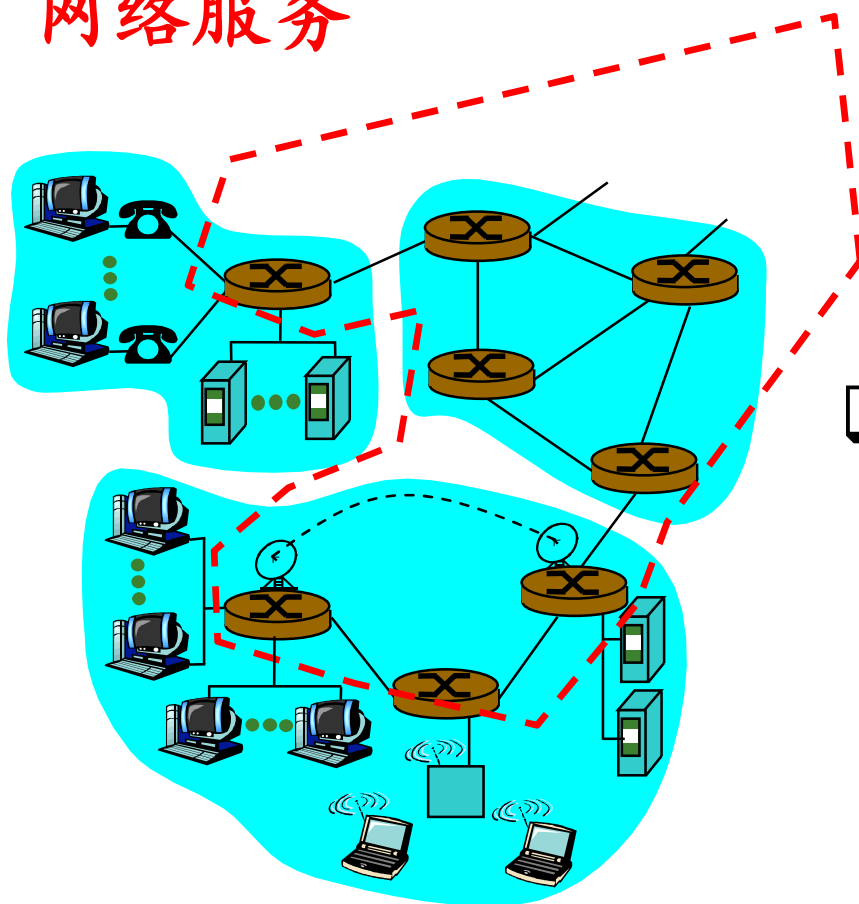
1.6 攻击威胁下的网络

1.7 计算机网络和因特网的历史

## 1.2 网络边缘

### ■ 网络边缘部分:

网络应用程序和主机/端系统；运行网络协议提供网络服务



### □ 网络核心部分:

□ 路由器

□ 由网络构成的网络

# 网络边缘：端系统

## ■ 端系统 (/主机):

- ☐ 运行网络应用程序
- ☐ 处在网络的边缘
- ☐ 传统主机/服务器/移动设备等

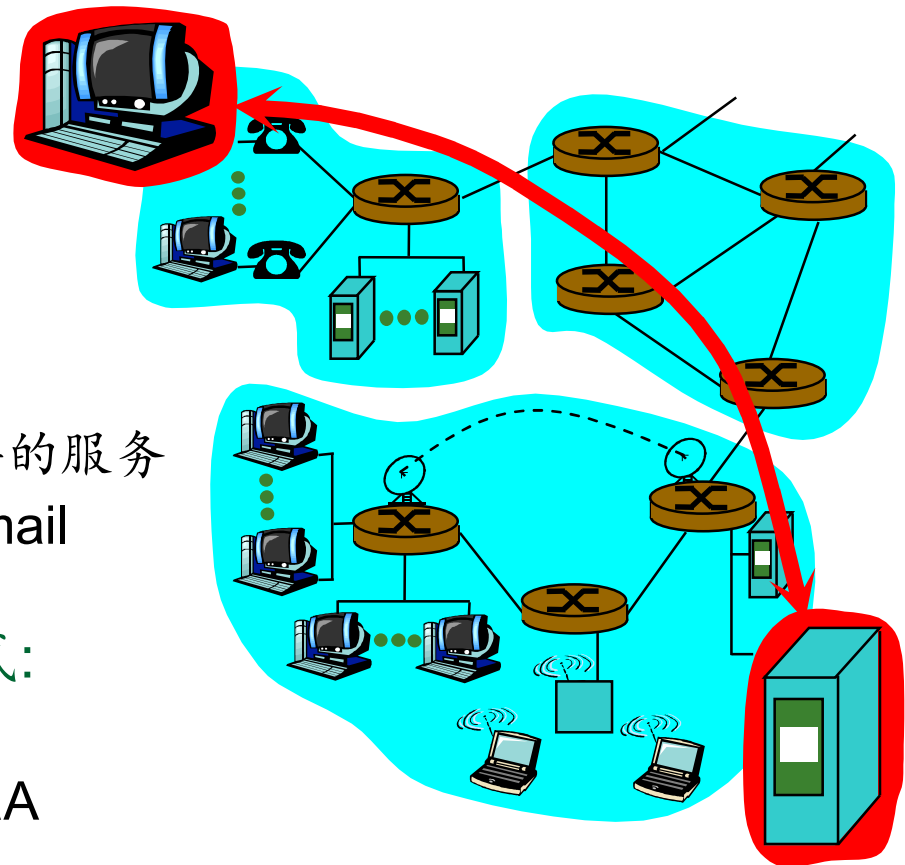
## ■ 端系统的两种模式

### ☐ 客户/服务器 (C/S) 模式

- 客户请求，并接收服务器提供的服务
- 比如 Web browser/server; email client/server

### ☐ 端对端peer-peer (p2p) 模式:

- 极少或不采用专门服务器
- 比如Skype, BitTorrent, KaZaA



## 网络边缘：服务

■ 因特网为端系统应用程序提供了哪些服务呢？

☐ 面向连接的服务

☐ 无连接服务

☐ 通过应用程序编程接口API提供服务

# 面向连接的服务

- **握手**: 如同招呼 **Hi<=>Hi**  
这样的人类语言交流
  - 客户和服务端事先进入戒备状态, 为接下来的分组交换做好准备
  - 建立“**连接**”后, 在两个端系统之间才开始传输数据
- **TCP - Transmission Control Protocol**

## TCP 服务 [RFC 793]

- **可靠、顺序、字节流传输**:
  - 丢失: 确认和重传
- **流量控制**:
  - 发送者不至于淹没接收者
- **拥塞控制**:
  - 当网络拥塞时发送者降低发送速率

## 无连接服务 (续)

- 无需握手

- 如同广播节目

- UDP - User Datagram Protocol [RFC 768]

不可靠数据传输

无流量控制

无拥塞控制

### 使用TCP的网络应用:

- HTTP (Web), FTP (file transfer), Telnet (remote login), SMTP (email)

### 使用UDP的网络应用:

- 流媒体, 视频会议, DNS, Internet电话



## 1.2.1 接入网络

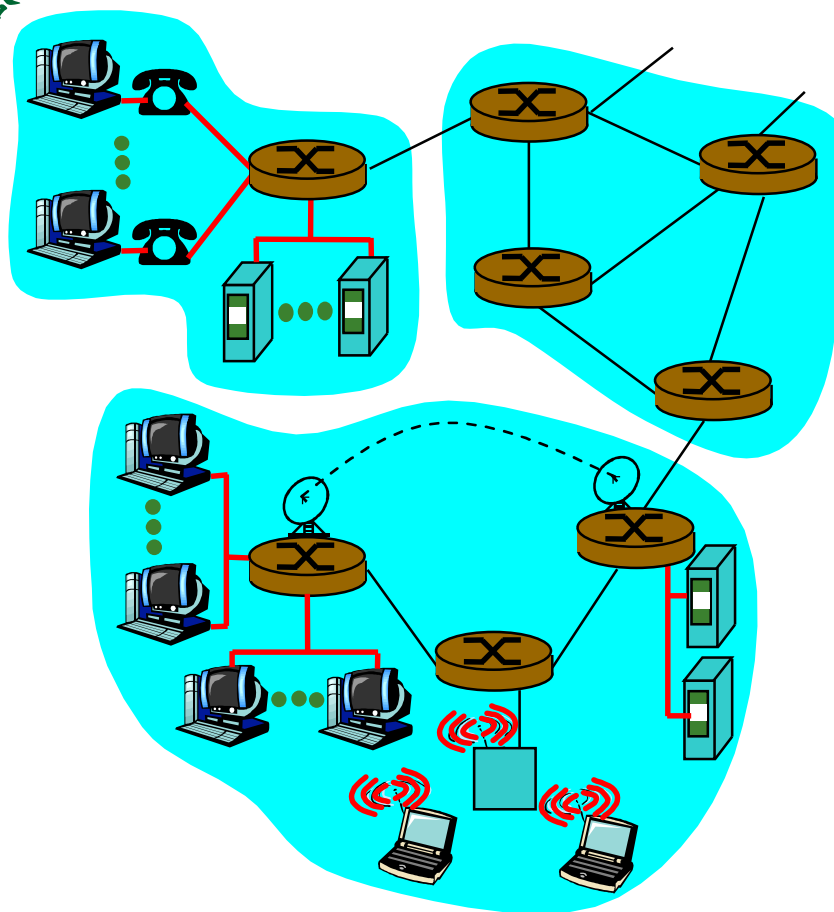
Q: 如何将终端系统连接到网络边缘的路由器?

一种粗糙分类:

- 住宅接入网络
- 机构接入网络 (学校, 公司)
- 无线接入网络

注意:

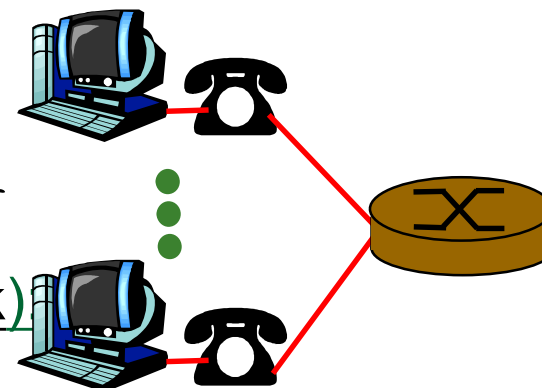
- 接入网络的带宽(bps)?
- 共享/独占?



# 1. 住宅接入网络: 点对点接入

## ■ 拨号线路上使用modem

- 可达56Kbps 直接接入边缘路由器  
(实际远小于该值,数字模拟调制解调)
- 不能同时网上冲浪和拨打电话: 不能一直在线



## ■ ISDN(Integrated Services Digital Network) 窄带综合业务数字网,数字数据传 输,2D+B,128Kbps

## ■ ADSL: (asymmetric digital subscriber line) 非对称数字用户线路

- 可达1 Mbps 上行速率 (目前典型 < 256 kbps)
- 可达 8 Mbps 下行速率 (目前典型 < 1 Mbps)
- FDM: 50 kHz - 1 MHz 高速下行通道  
4 kHz - 50 kHz 高速上行通道  
0 kHz - 4 kHz 普通双向电话通道

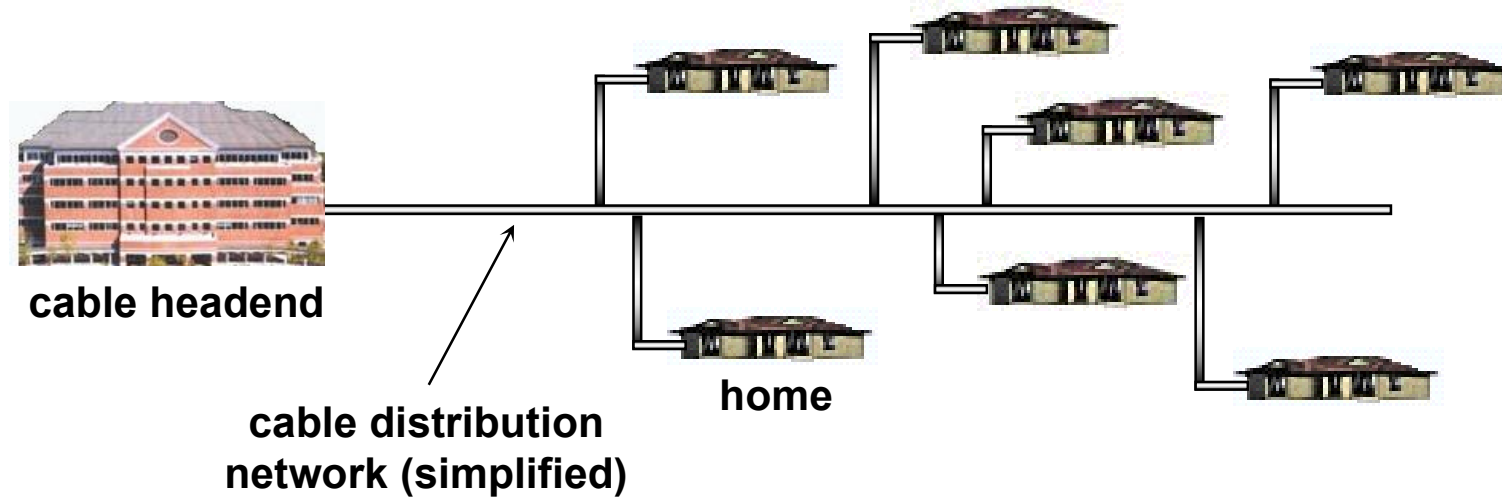
## 1. 住宅接入网络: cable modems (线缆调制解调器)

- HFC:(hybrid fiber coaxial cable)混合光纤同轴电缆  
非对称: 可达2Mbps 上行速率, 30Mbps下行速率
- 光纤/同轴电缆混网连接家庭住宅到ISP路由器
  - 各住宅共享到路由器之间的广播信道
  - 引起问题: 拥塞, 规模
- 部署: 可以通过广电公司提供该网络接入服务

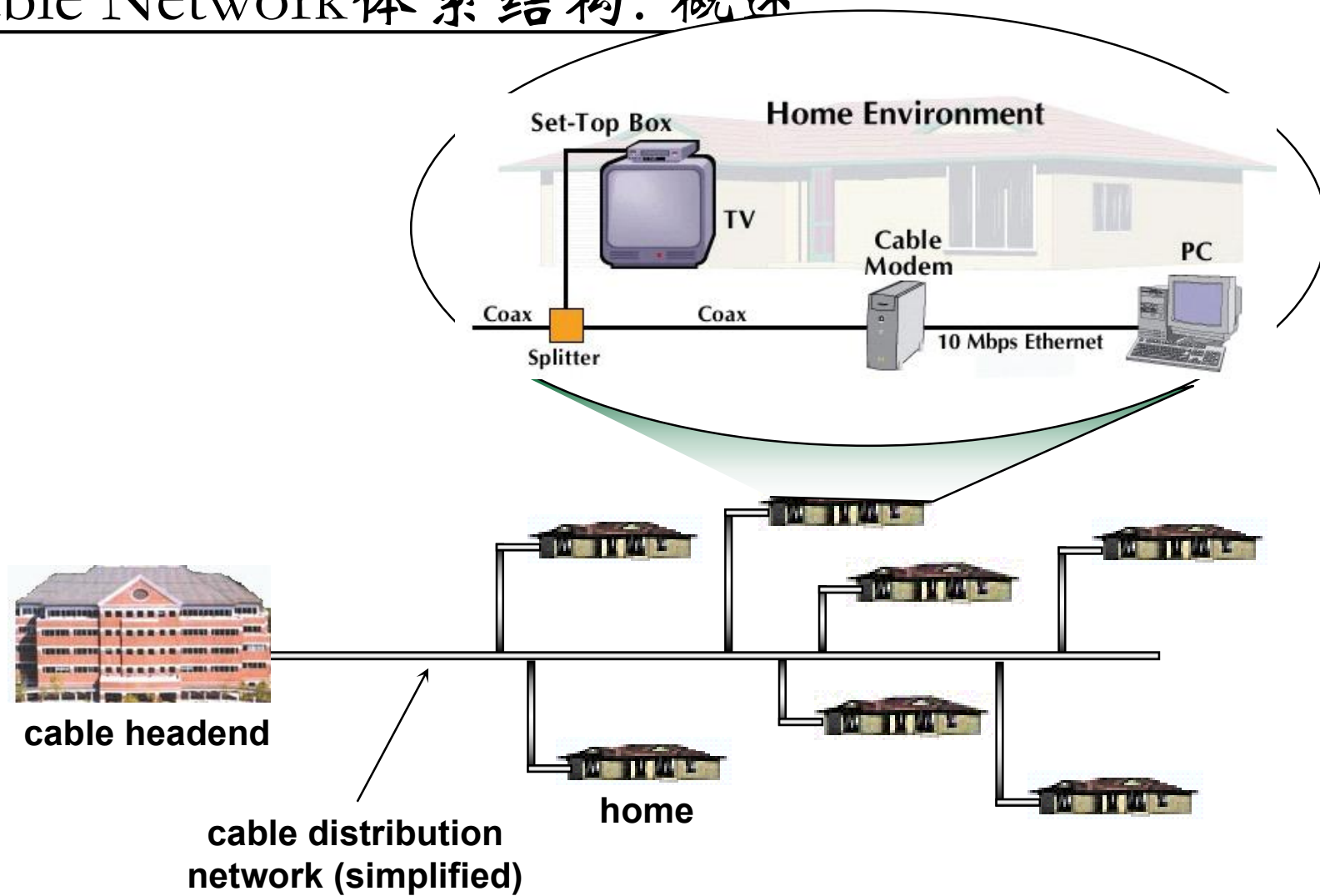
## Cable Network 体系结构: 概述

美国家庭大部分采用的是光纤网络HFC

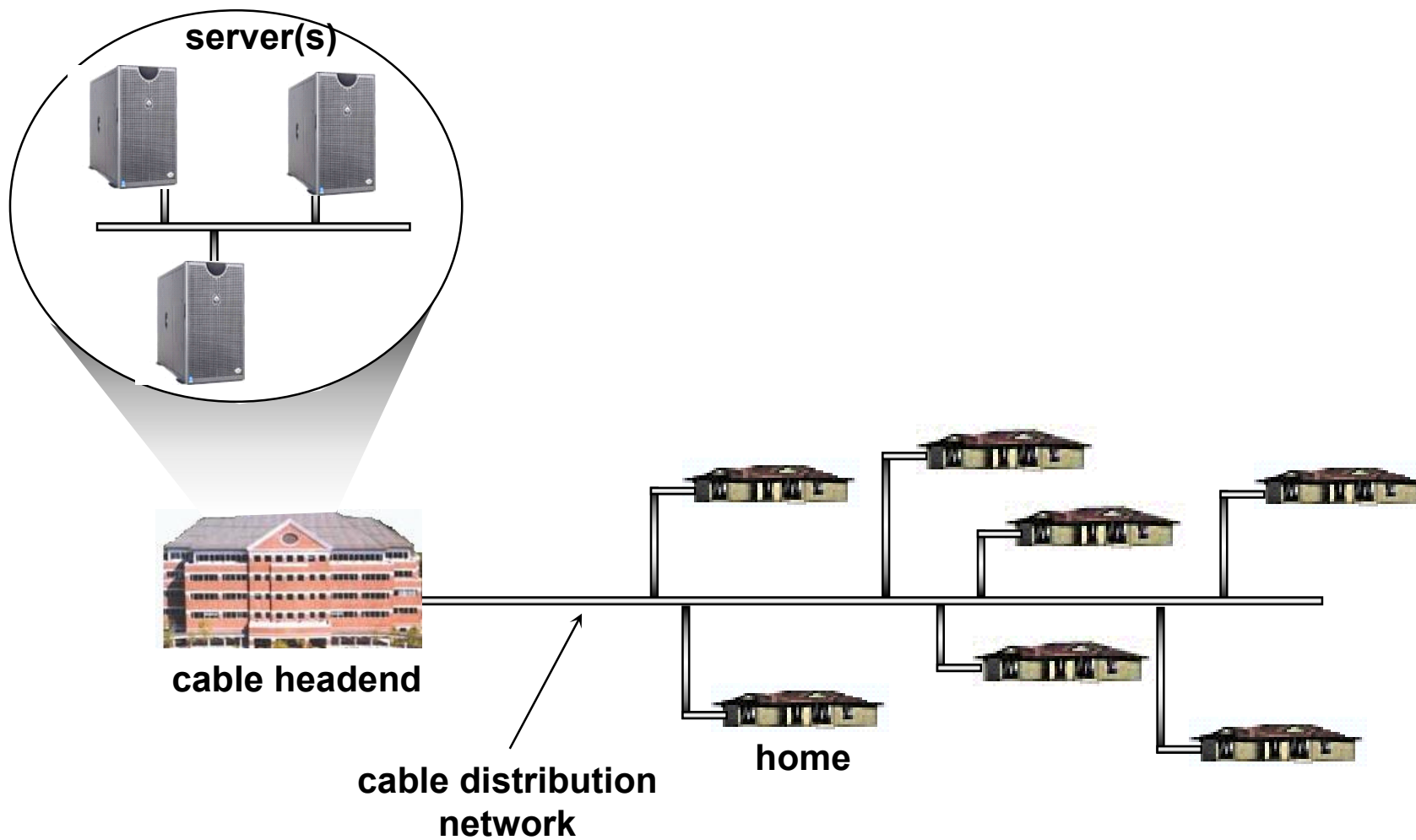
Typically 500 to 5,000 homes



# Cable Network体系结构: 概述

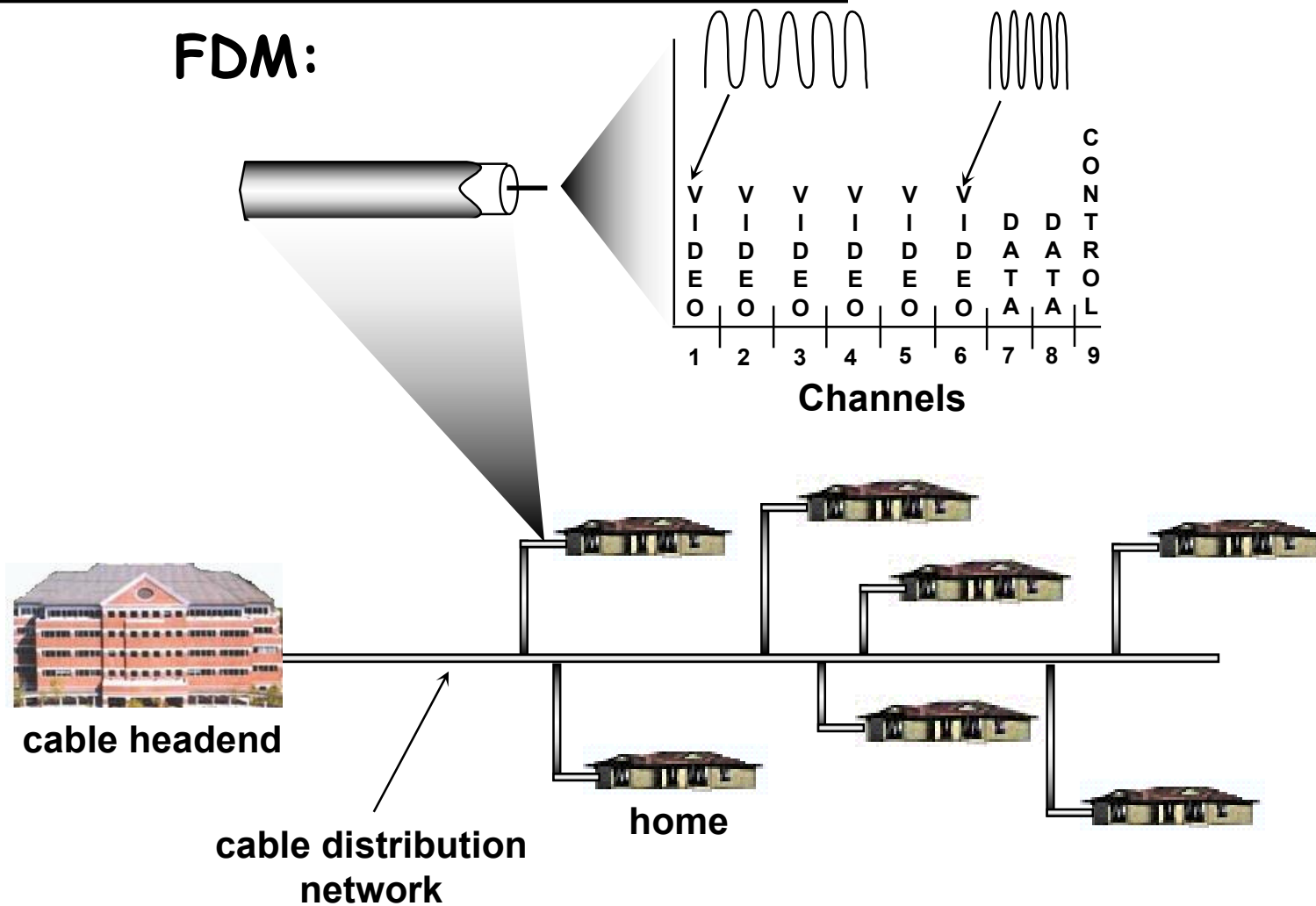


# Cable Network体系结构: 概述



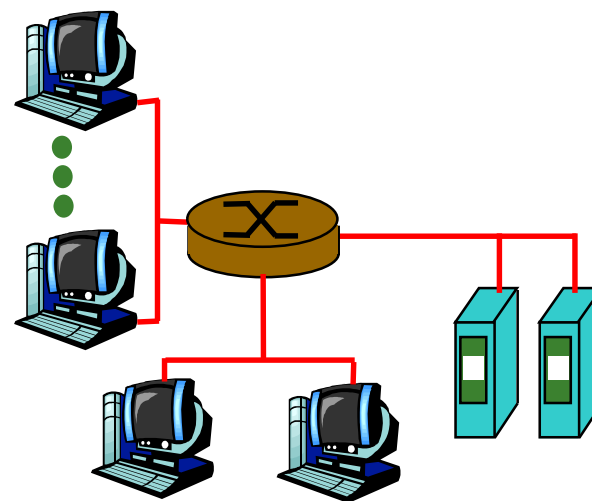
# Cable Network体系结构: 概述

**FDM:**



## 2. 机构接入网络: local area networks (LAN)

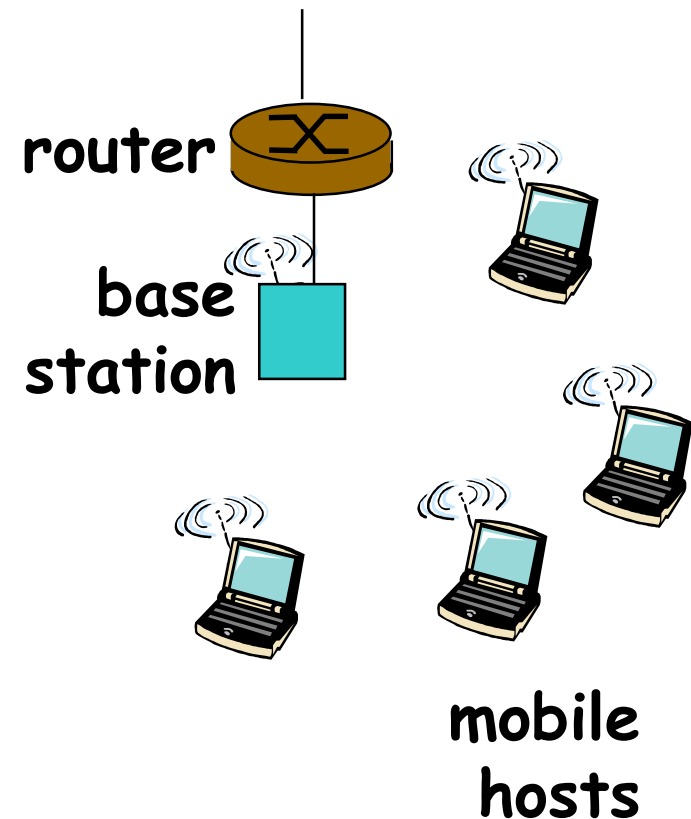
- 公司/大学局域网 **local area network (LAN)** 连接端系统到边缘路由器
- **以太网Ethernet:**
  - 共享（共享式以太网）或独占（交换式以太网）链路连接端系统和边缘路由器
  - 10 Mbs, 100Mbps, Gigabit Ethernet, 10Gbps
- **部署:** 机构、住宅局域网正在普及
- LANs: chapter 5





### 3. 无线移动接入网络

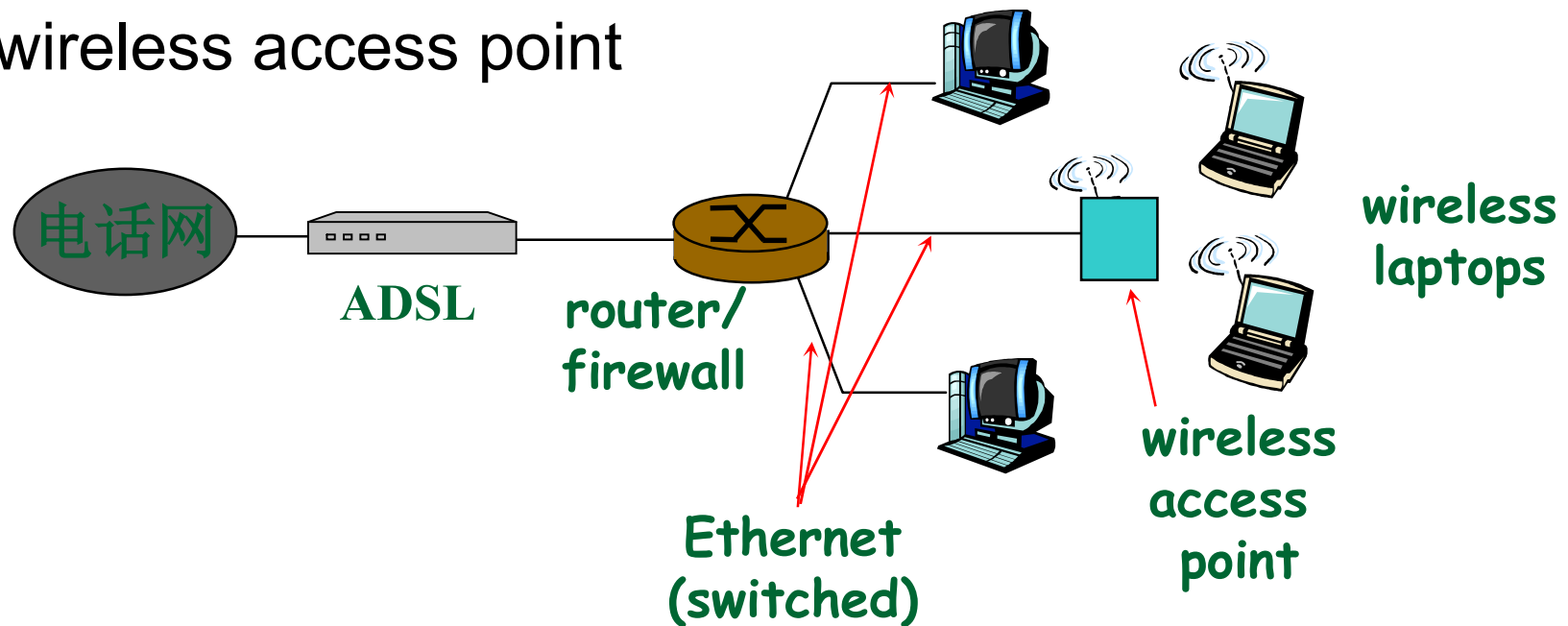
- 共享的无线接入网络连接端系统到边缘路由器
  - 通过基站，即接入点 “access point”
- 无线局域网 **wireless LANs**:
  - 802.11a/b/g/n (WiFi):  
54/11/54/600 Mbps
- 广域无线接入网 **wide-area wireless access**
  - 由电信运营商提供, 均支持IP
  - WAP/GPRS或CDMA
  - 3G提供超过384 kbps的带宽
  - 4G 100Mbps
  - 5G 10Gbps



# 家庭网络举例：

典型家庭网络的构建：

- ADSL 或 cable modem
- router/firewall/NAT
- Ethernet
- wireless access point



## 1.2.2 物理介质

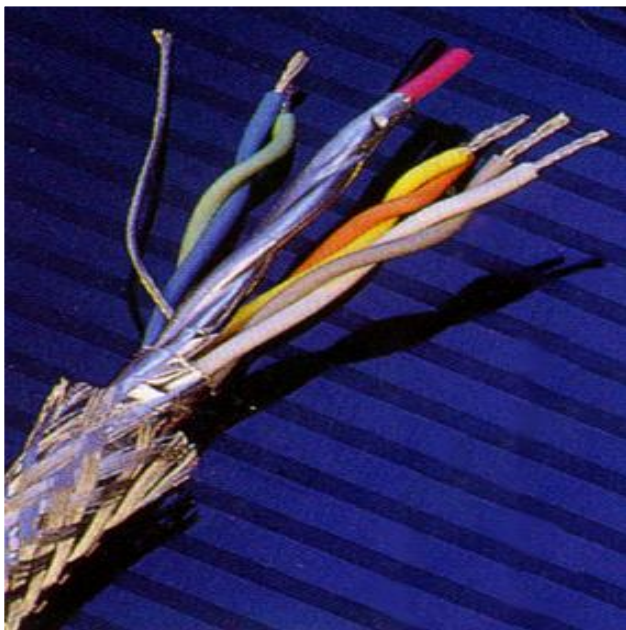
- **物理链路:**在发送方和接受方间,传播位 (bit) 信号
- **导引型媒体:**
  - 信号在固态介质中有向传播, 如: 光纤、双绞线和同轴电缆等
- **非导引型媒体:**
  - 信号在大气空间或外太空空间自由传播, 如: 无线电

## 1.4.2 物理介质-双绞线

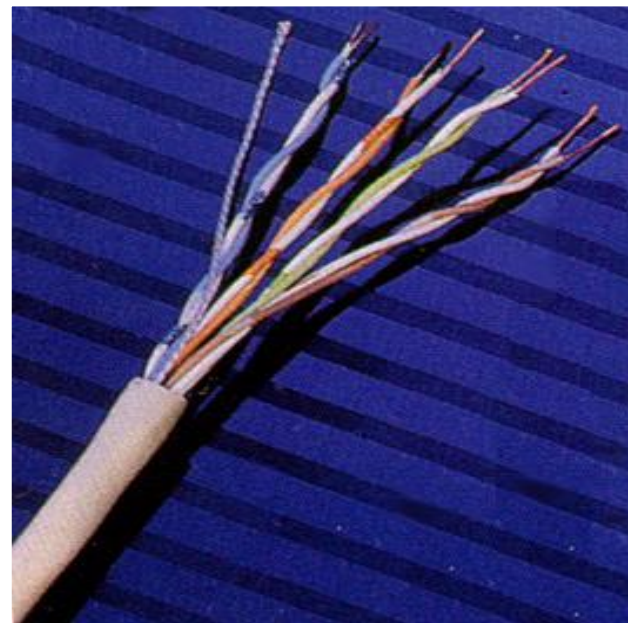
两根彼此绝缘、相互缠绕成螺旋状的铜线。  
缠绕的目的是减少电磁干扰，提高传输质量。

- 屏蔽双绞线 (STP, Shielded Twisted Pair)
- 非屏蔽双绞线 (UTP, Unshielded Twisted Pair )

## 1.2.2 物理介质-双绞线



屏蔽双绞线 STP



非屏蔽双绞线 UTP

## 1.2.2 物理介质：同轴电缆和光纤线

### (2).同轴电缆:

- 两根彼此绝缘的同心导体
- 双向传输
- 基带baseband:
  - 50Ω, 1cm
  - 单信号频带
  - 细缆以太网10base-2
- 宽带broadband:
  - 75Ω, 较粗
  - 多信号频带
  - 用于光纤同轴混合网  
HFC

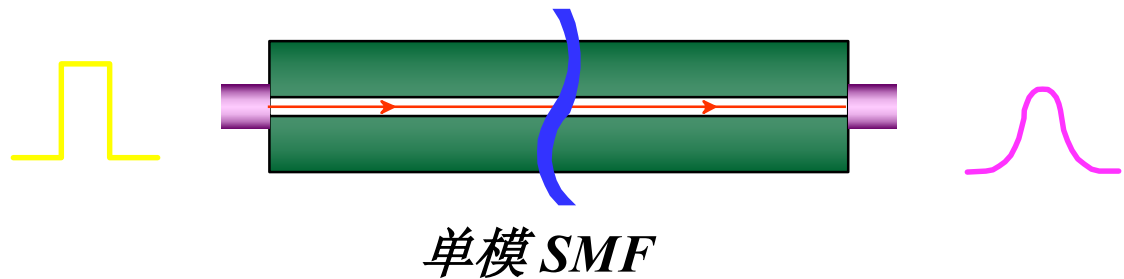
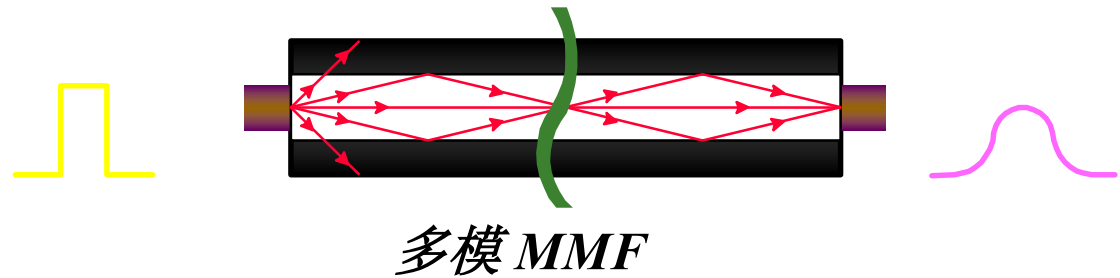


## 1.2.2 物理介质：同轴电缆和光纤线

### (3). 光纤线缆：

- 光纤传导光脉冲，每个光脉冲代表1位
- 高速传输：高速点对点传输（可达数十或数百 Gbps）
- 低误码率：中继到更远传输距离；防止电磁干扰
- 难以被分光窃听

输入电信号



## 1.2.2 物理介质：无线电磁波

- 以电磁频谱承载信号
- 没有物理连线
- 双向
- 传播环境的影响:
  - 多路径衰落—干扰物表面反射
  - 盲区衰落—障碍物绕/透
  - 干扰—其他电磁信号

### (4).无线链路类型:

#### ■地面微波

e.g. 达 45 Mbps 信道

#### ■局域无线通道

(e.g., WiFi)

11Mbps, 54Mbps, 更高

#### ■广域无线通道 (e.g., cellular)

e.g. GPRS, CDMA

e.g. 3G: hundreds of kbps

#### ■卫星通信

高达数百Mbps 信道 (或多个更小的信道)

250 msec毫秒端到端延迟

地球同步卫星与低轨道卫星

(铱星系统—66颗低空卫星)



# 第一章 大纲

1.1 什么是因特网

1.2 网络边缘

1.3 网络核心

1.4 分组交换网中的时延、丢包和吞吐量

1.5 协议层次和它们的服务模型

1.6 攻击威胁下的网络

1.7 计算机网络和因特网的历史

## 1.3 网络核心

■ 网络核心是相互连接的**路由器**构成的**网络**

■ 如何在网络核心中传送数据呢？

■ 基本原理:

□ **电路交换**: 每次会话**预留**沿其  
路径（线路）所需的**独占资源**

例: 电话网

□ **分组交换**: 数据以离散的数据  
**块（分组）**通过网络来发送

例: 因特网

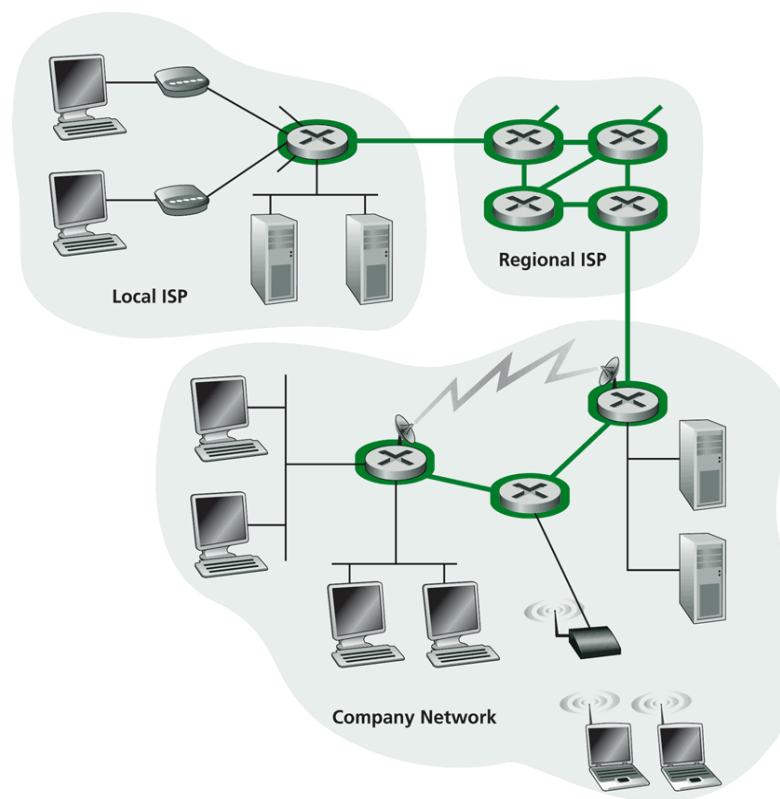
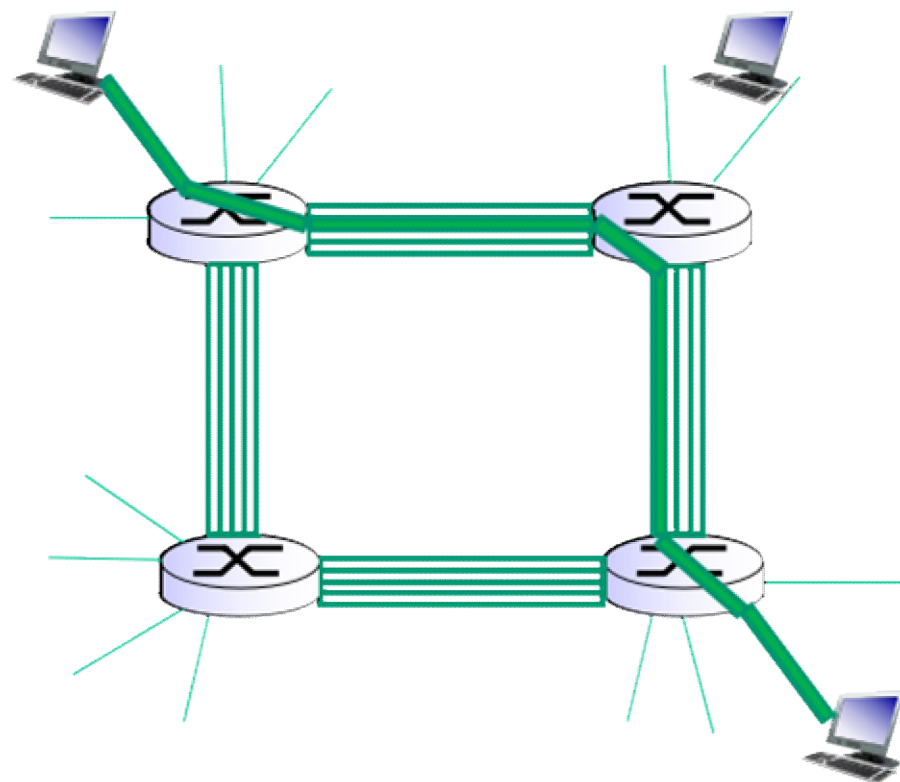


Figure 1.4 ♦ The network core

## 1.3.1 电路交换

### 网络资源（如带宽）被分片

- 分片 分配到会话
- 分片预留：没有被会话使用的情况下，分片空载(**不共享**)
- 电路级性能
- 要求呼叫建立：建立一个专门的端到端线路(意味着每个链路上**预留**一个线路)
- 链路带宽分片
  - 频分—frequency division
  - 时分—time division

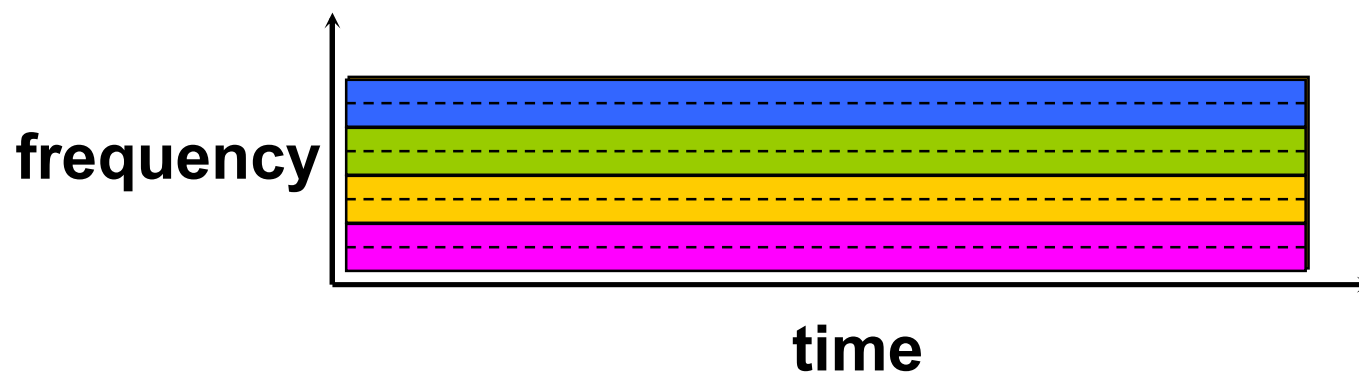


### 1.3.1 电路交换(续: FDMA and TDMA)

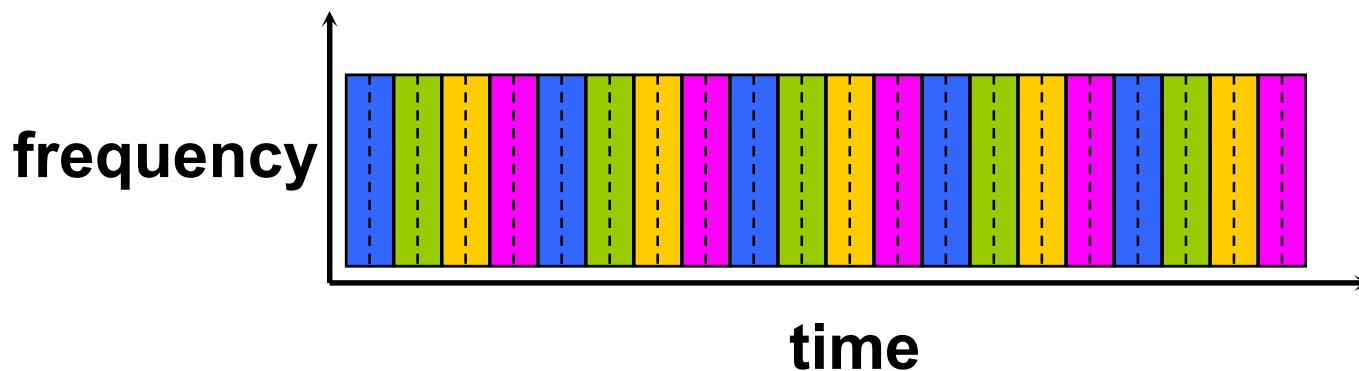
**Example:**

**FDMA**

**4 users**    



**TDMA**



## 电路交换举例

从主机A到主机B经一个电路交换网络需要多长时间发送一个640Kb的文件？

假设：

链路带宽是 1.536 Mbps

链路使用TDM划分成24个时隙

创建一条端到端的链路需要500msec

## 1.3.2 网络核心: 分组交换

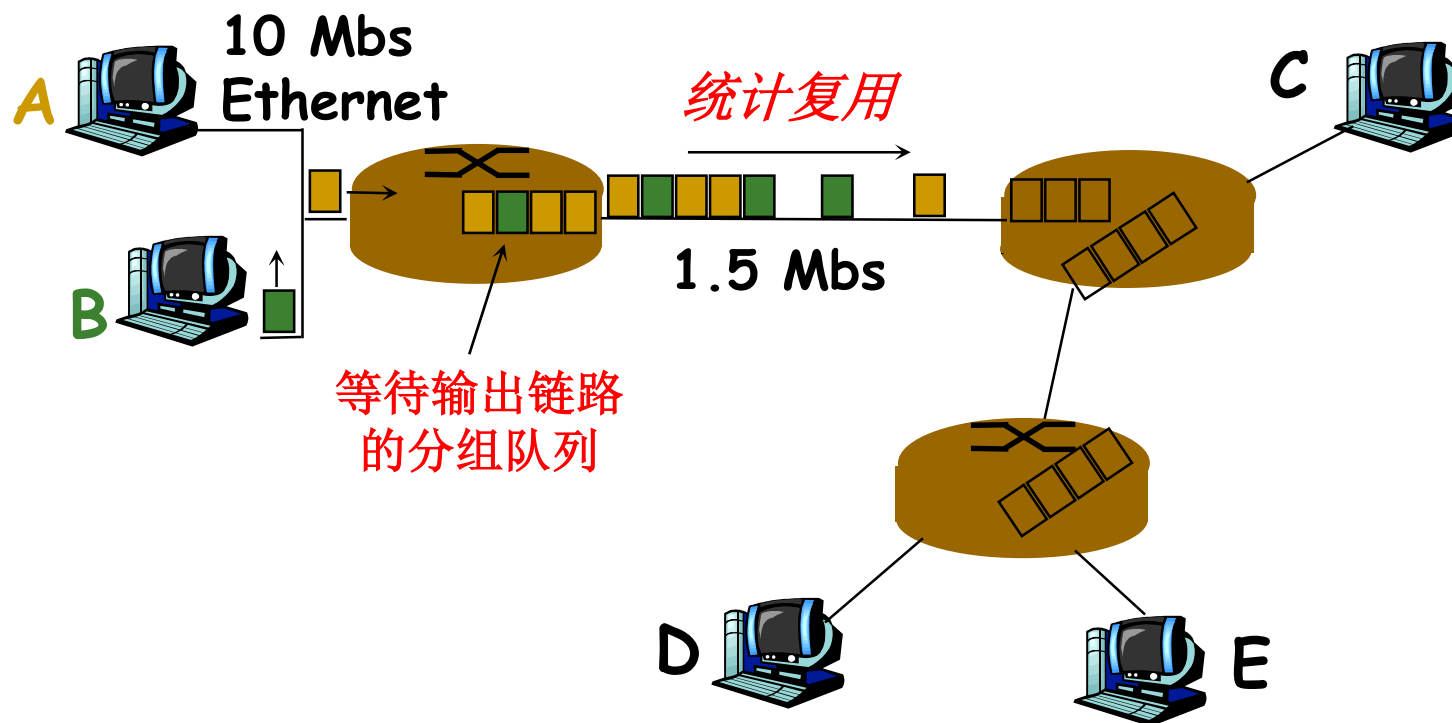
每个端到端的数据流被划分成**分组**

- 所有分组**共享网络资源**
- 每个分组使用**全部链路带宽**
- 资源**按需使用**

~~电路交换中的要求:~~

~~带宽分片  
独占分配资源  
资源预留  
负载低是资源利用率低~~

## 1.3.2 网络核心: 分组交换—统计复用

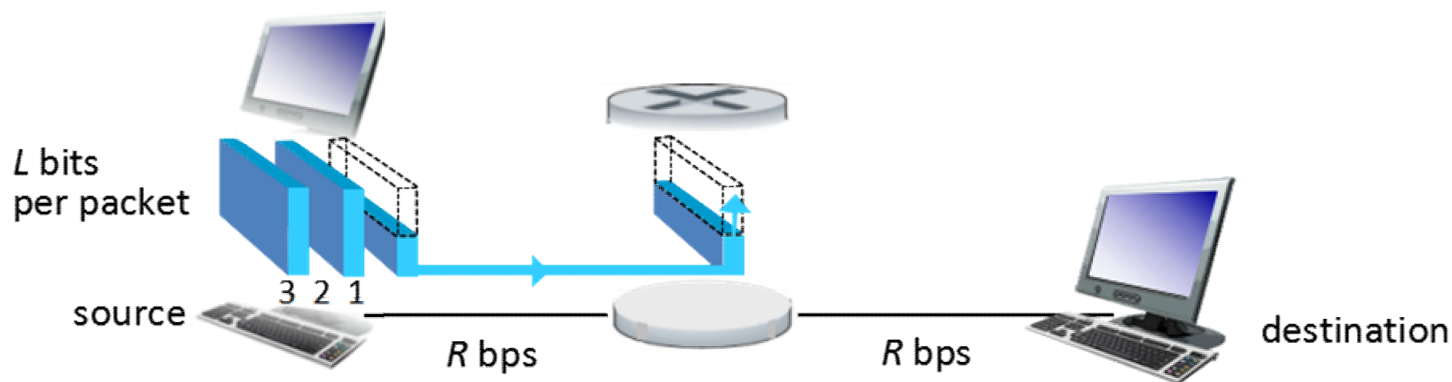


A & B 分组没有固定的顺序——统计复用: 按需分配

时分复用: 固定时隙

频分服务: 固定频段

## 1.3.2 网络核心: 分组交换



分组交换采用的核心技术: **存储转发**

- (1) 分组到达路由器后, **存储并排队等待转发**;
- (2) 分组**每次转发1站**, 从一个路由器转发到下一站路由器或主机
- (3) 转发分组前, 要求**收到完整分组**

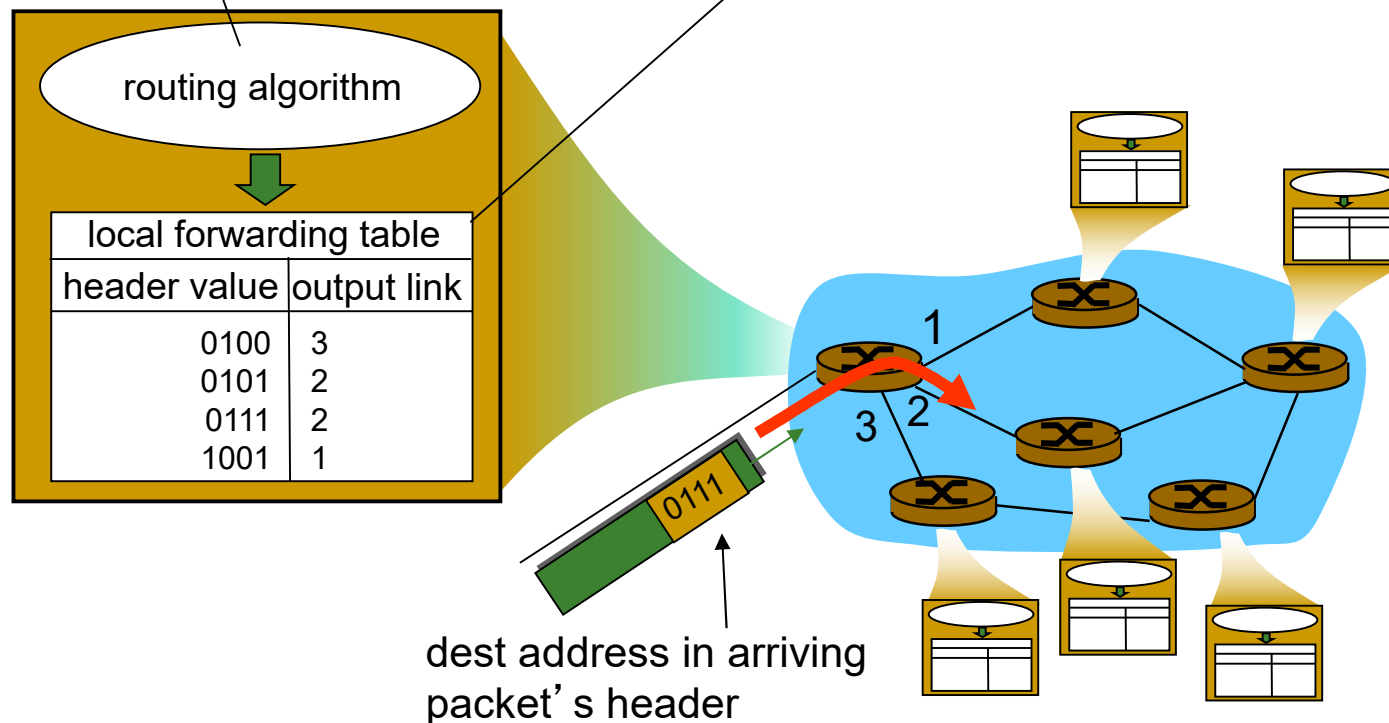


## 1.3.2 网络的两个核心功能

路由：决定分组从源到目的的路径

路由策略

转发：将分组从路由器的输入端口移动到适当的输出端口

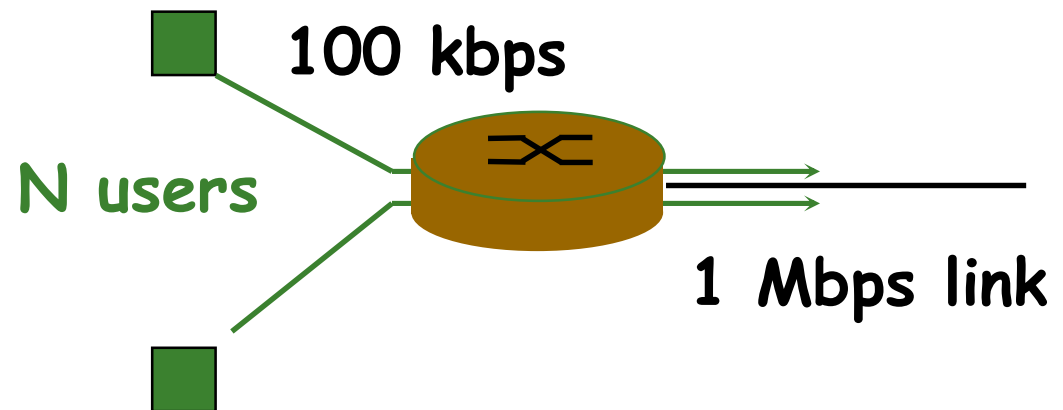


# 比较分组交换与电路交换

**分组交换允许更多的用户使用网络！**

假设：

- 用户共享1 Mbps 的链路
- 每个用户：
  - 活动期传输率100 kbps
  - 只有10%的时间活动
- 电路交换：
  - 10 users



- 分组交换：
  - 如果35个用户
  - 10个以上活动用户的概率小于 0.0004

# 比较分组交换与电路交换

## 分组交换是最后的赢家吗？

### ■ 优点：适合大量的突发数据传输

- ☐ 资源共享

- ☐ 简单，不需要建立连接

### ■ 缺点：过渡竞争

- ☐ 导致分组延迟与丢失

- ☐ 需要可靠数据传输、拥塞控制协议

### ■ 问题：如何提供电路级的性能？

- ☐ 对于比如音视频的网络应用需要带宽保障

- ☐ 对于比如文件传输需要完整性保障

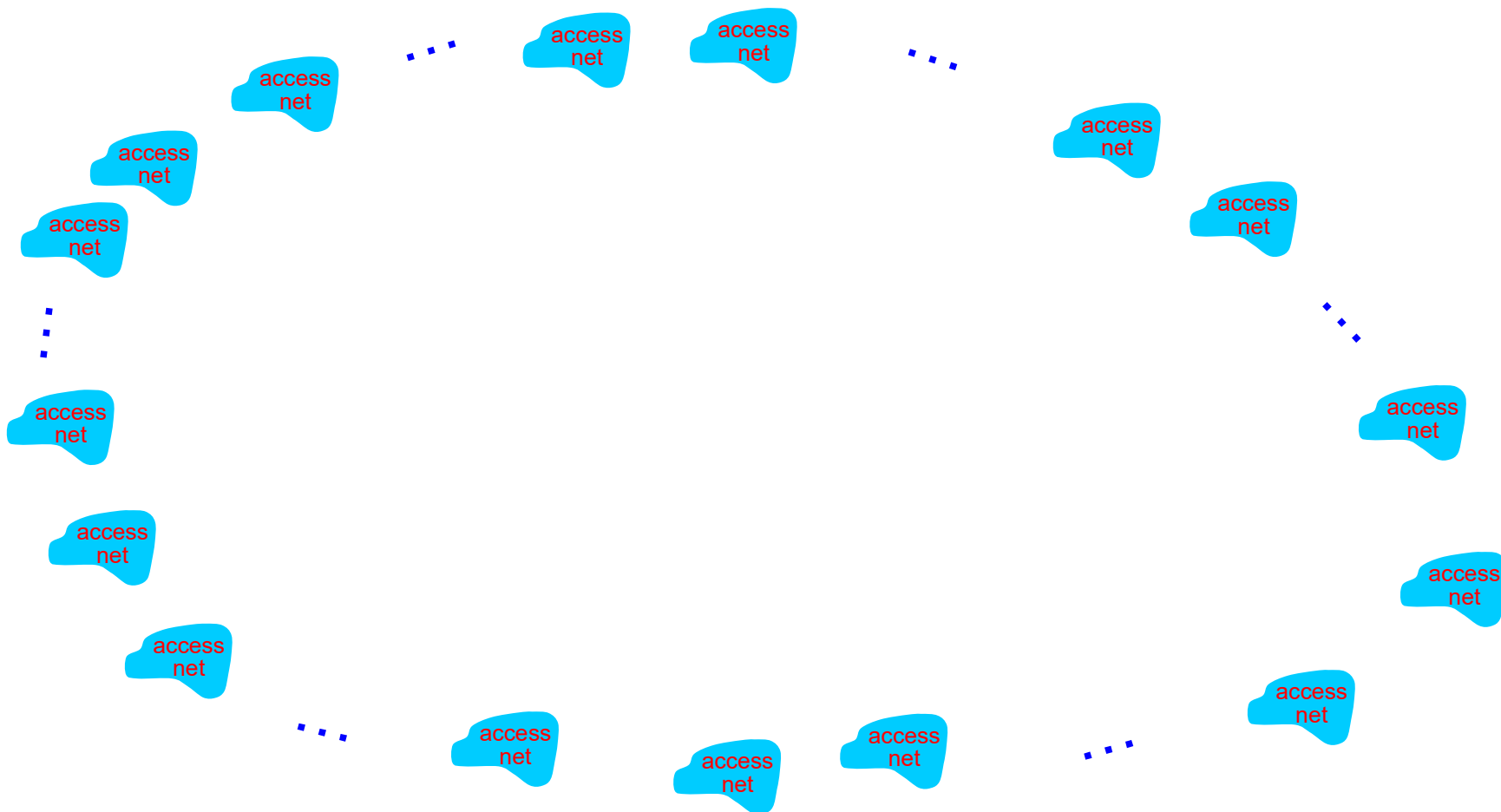
### 1.3.3 Internet结构：网络构成的网络

- ❖ 终端通过接入ISPs ( Internet Service Providers ) 连接Internet
  - 住宅, 公司和学校ISPs
- ❖ 接入ISPs必须互联
  - ❖ 这样任意端系统能够彼此发送分组。
  - ❖ 构成因特网的“网络的网络”已经演化成为一个非常复杂的结构。
  - ❖ 这种演化很大部分是由经济和国家策略驱动的。

# 互联网结构

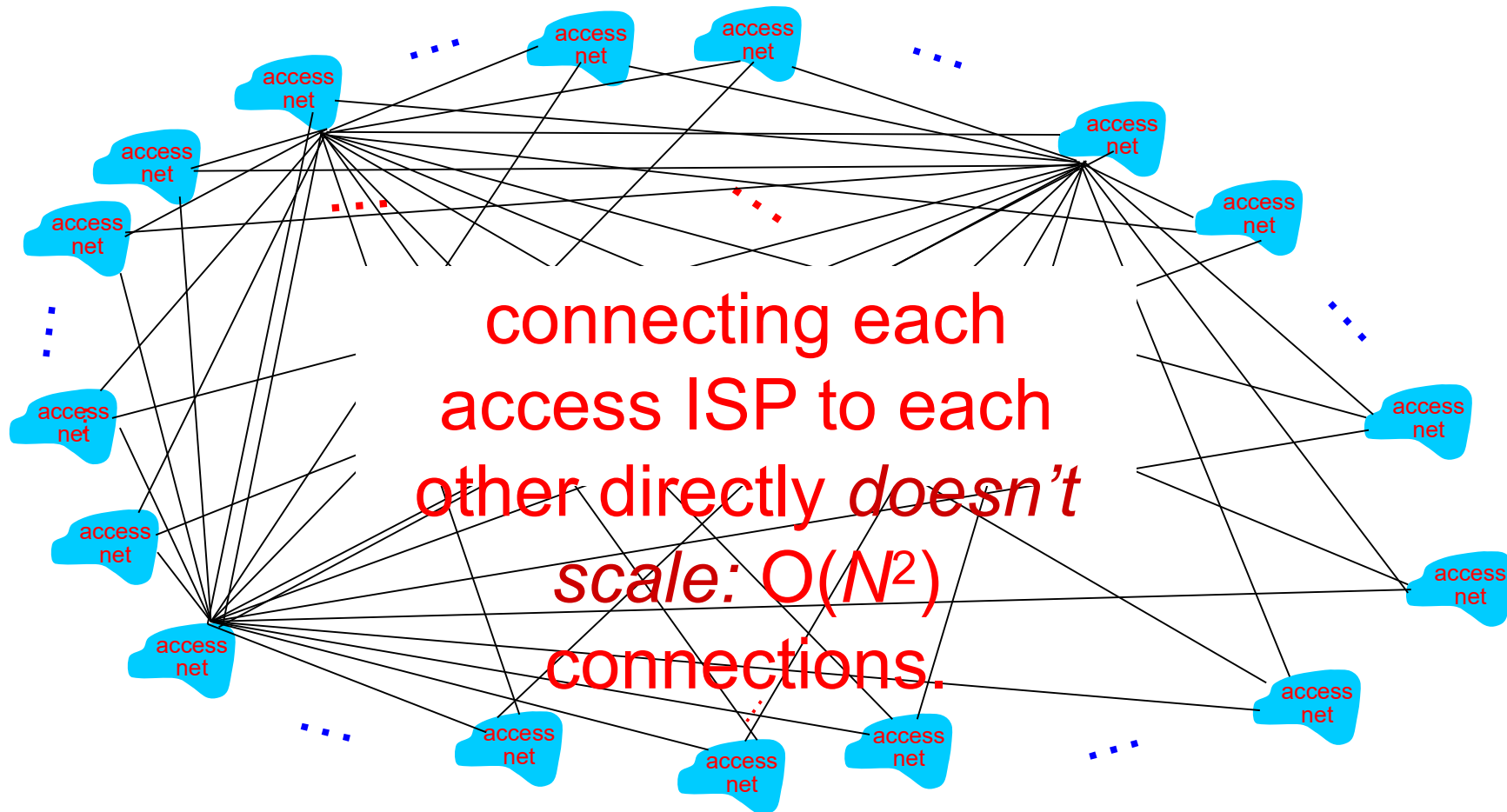
---

**问题：**怎样将数以百万计的access ISPs连接起来？



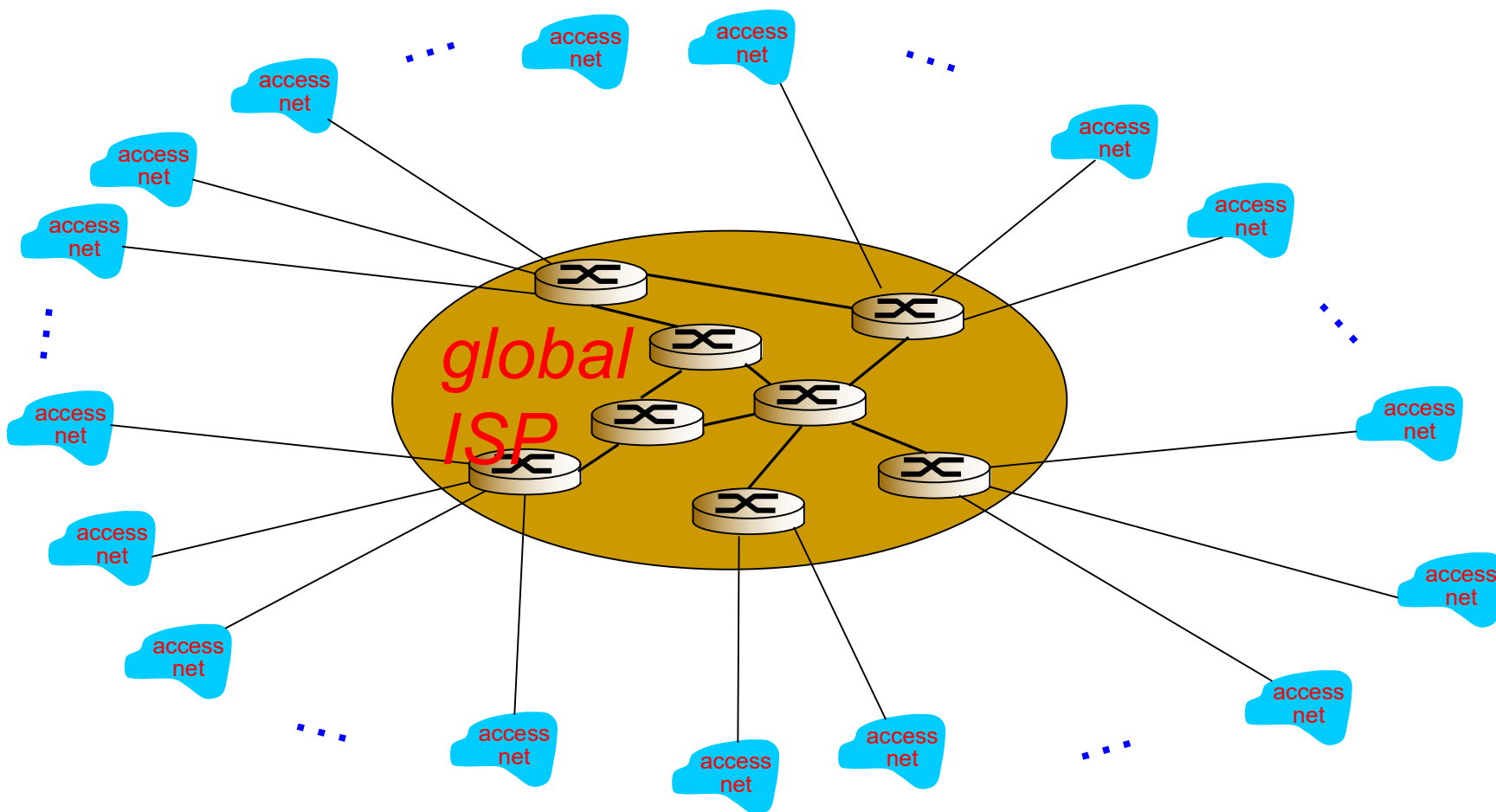
# 互联网结构

问题: ISP彼此连接?



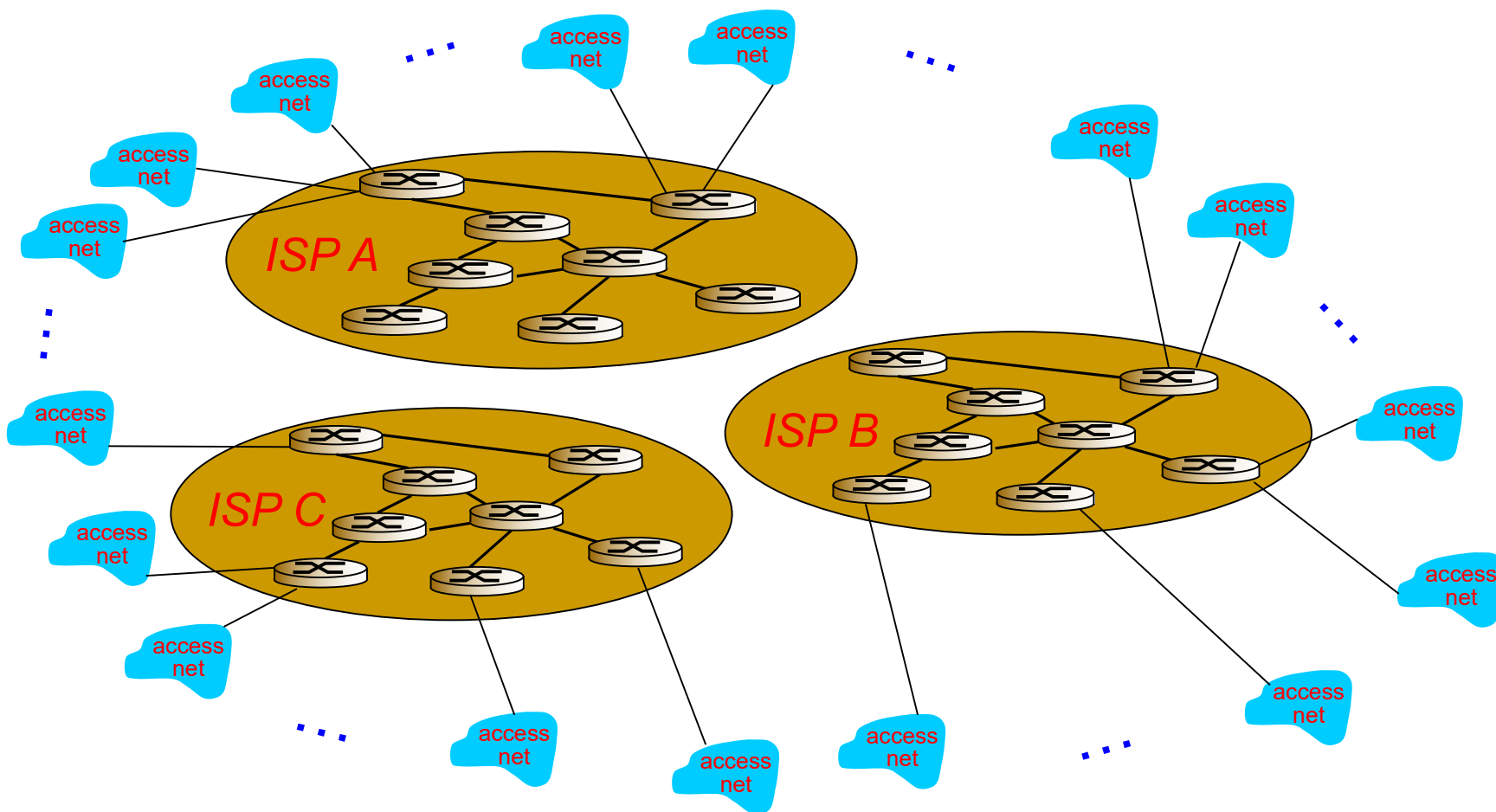
# 互联网结构

选项：连接每一个接入ISP 到全球ISP？



# 互联网结构

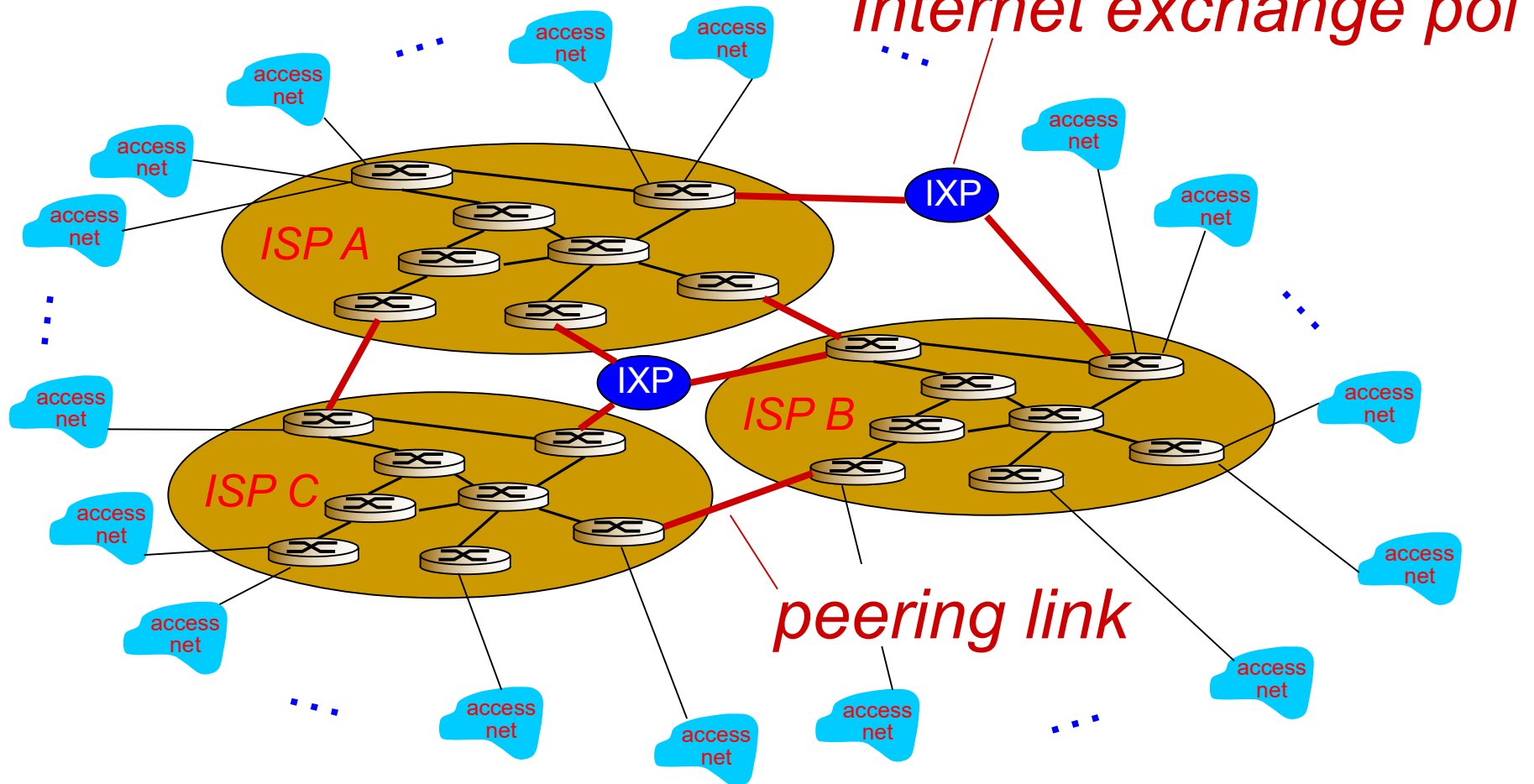
如果某个公司建立了一个可盈利的全球ISP，其他竞争者….





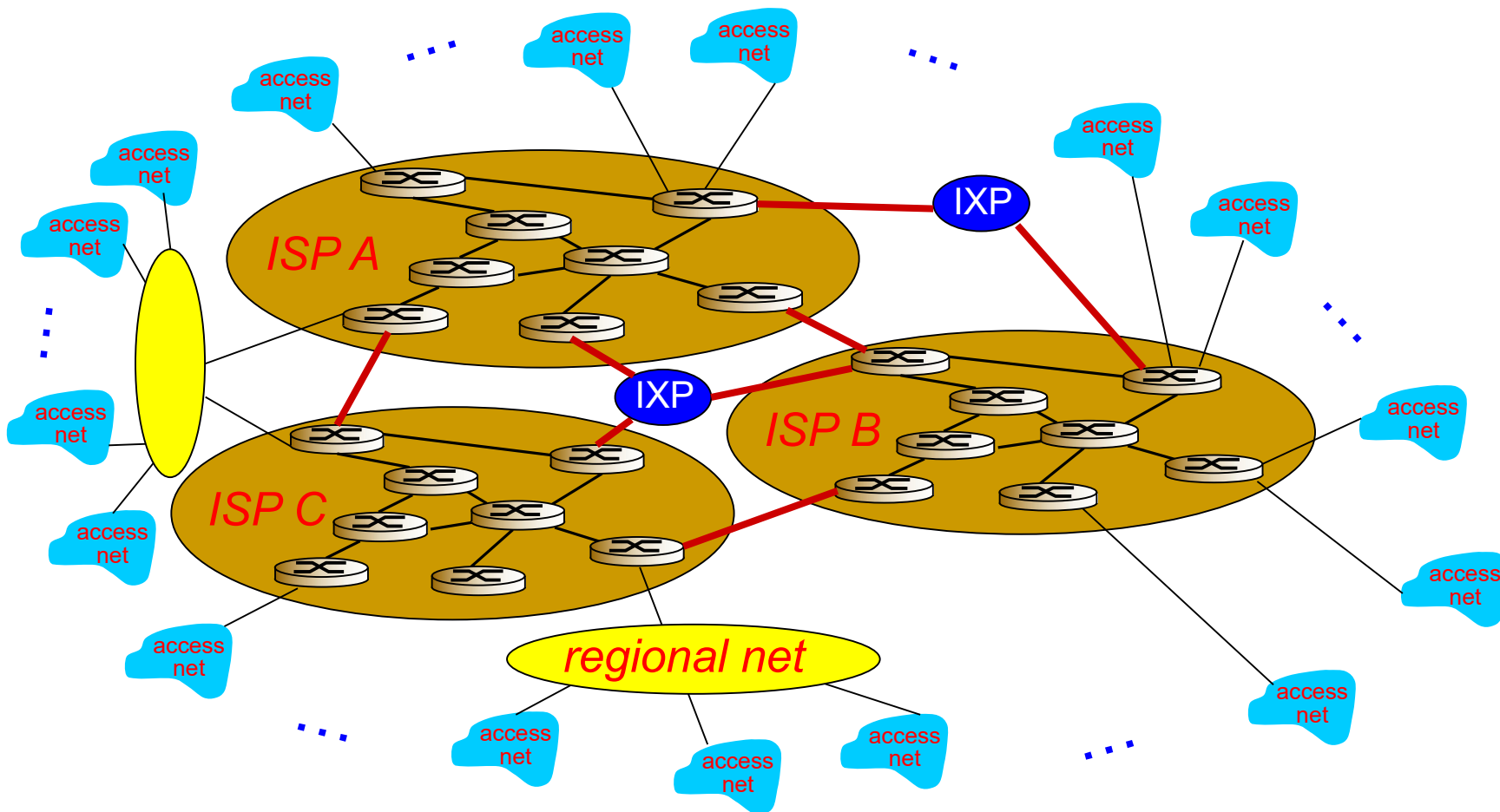
# 互联网结构

如果某个公司建立了一个可盈利的全球ISP，  
其他竞争者…… 必须是互联的



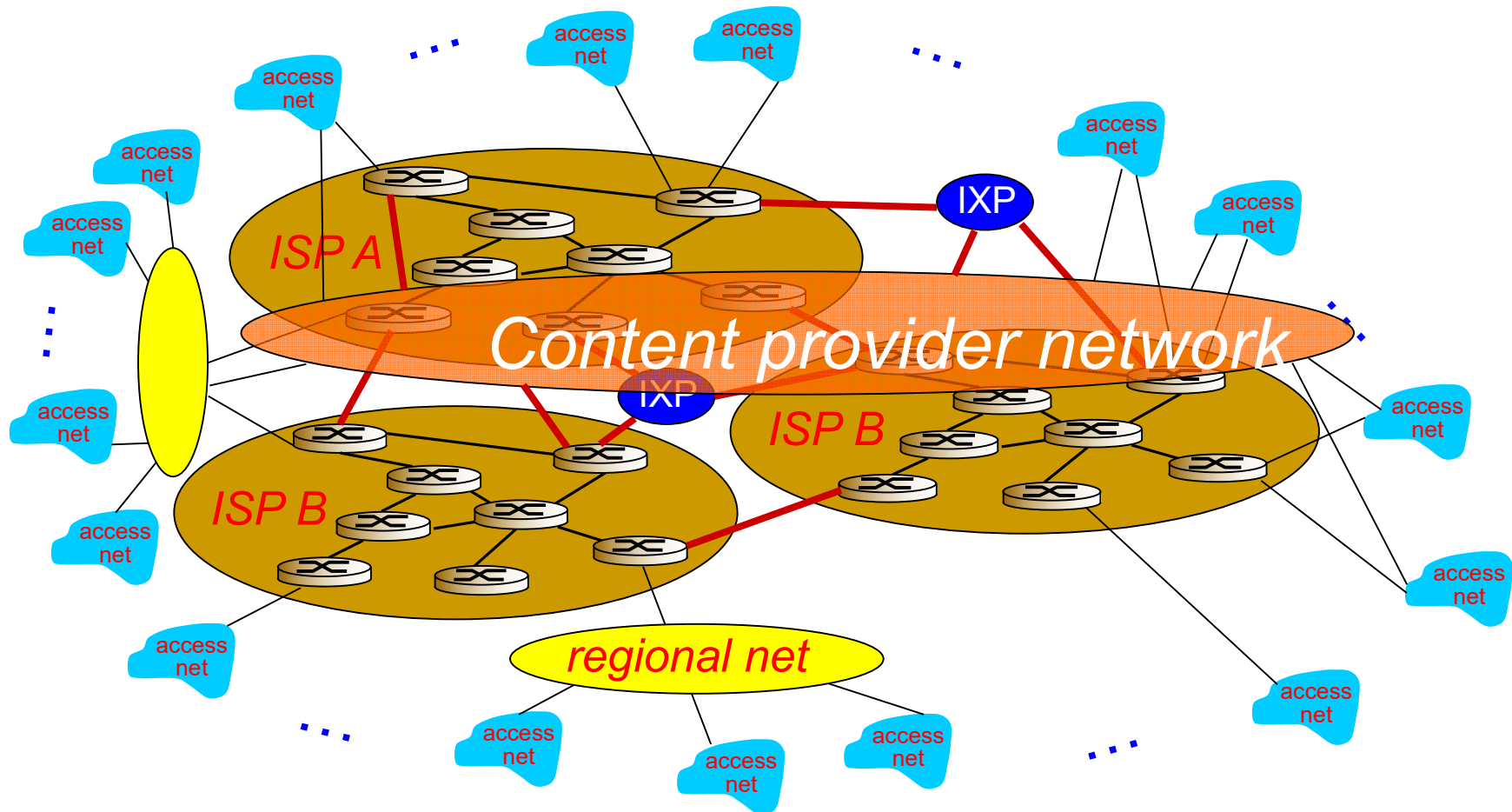
# 互联网结构

... 区域网络连接接入网络和ISPs

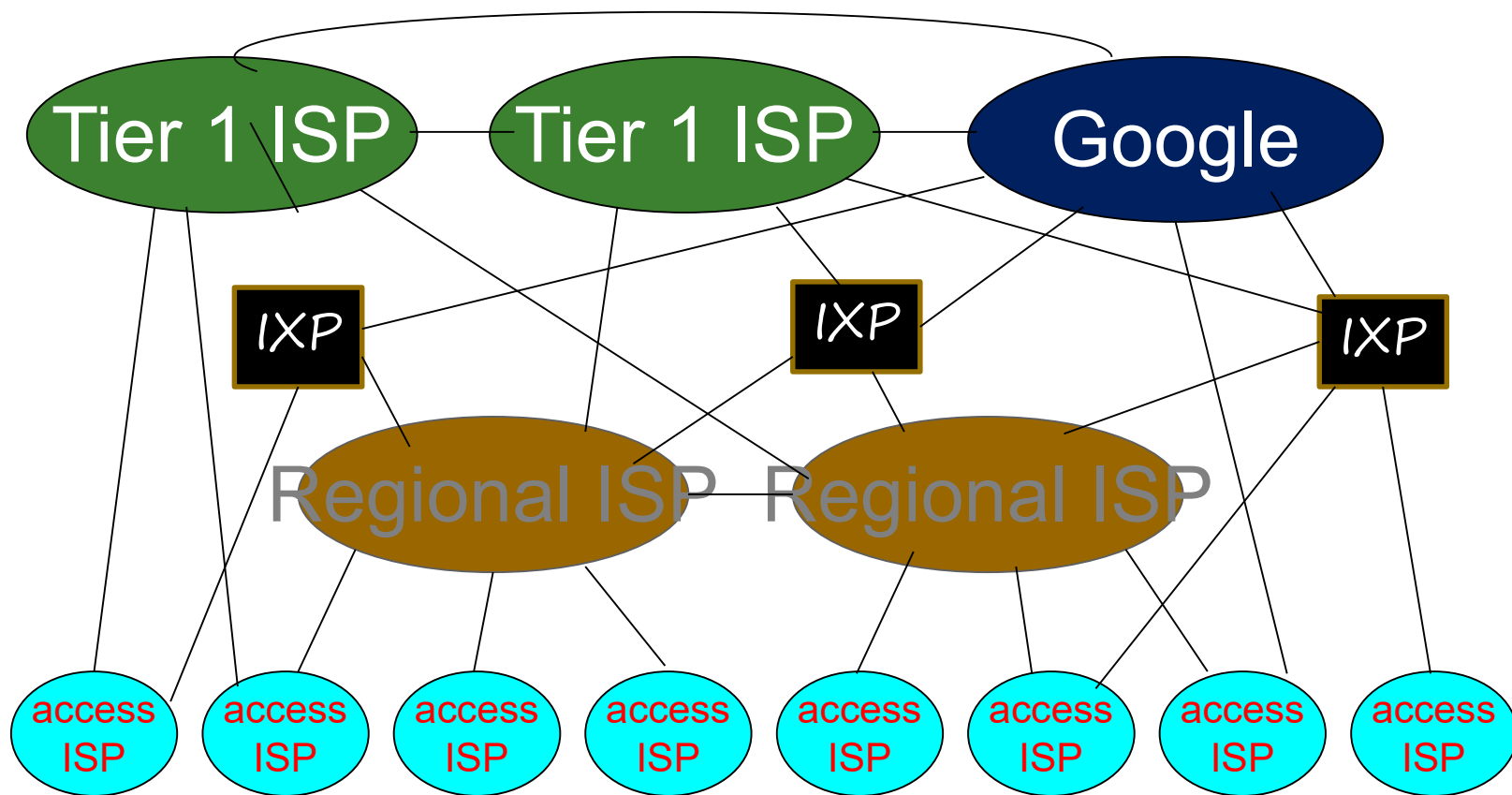


# 互联网结构

... 内容提供商网络 (e. g., Google, Microsoft, Akamai ) 运行自己的网络, 提供服务



# 互联网结构

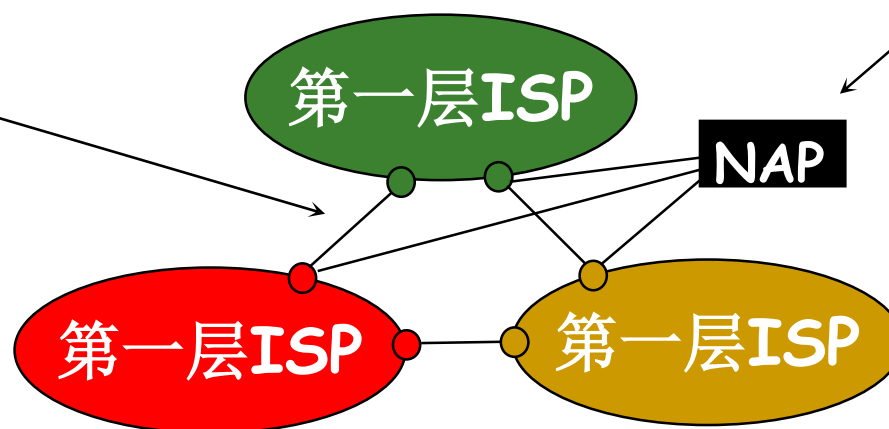


# 第一层ISP

## ■ 构成Internet核心主干:

- “第一层” **ISPs = NSP** 国家/国际级**ISP**(e.g., UUNet, BBN/Genuity, Sprint, AT&T), 覆盖国际区域的
- **ISP**彼此对等, 直接互连或通过网络接入点互连
- 内容提供商**ICP**如**Google**等
  - 私有网络, 将数据中心连入互联网, 绕过第一层**ISP**甚至区域**ISP**

第一层提供  
专用对等互连

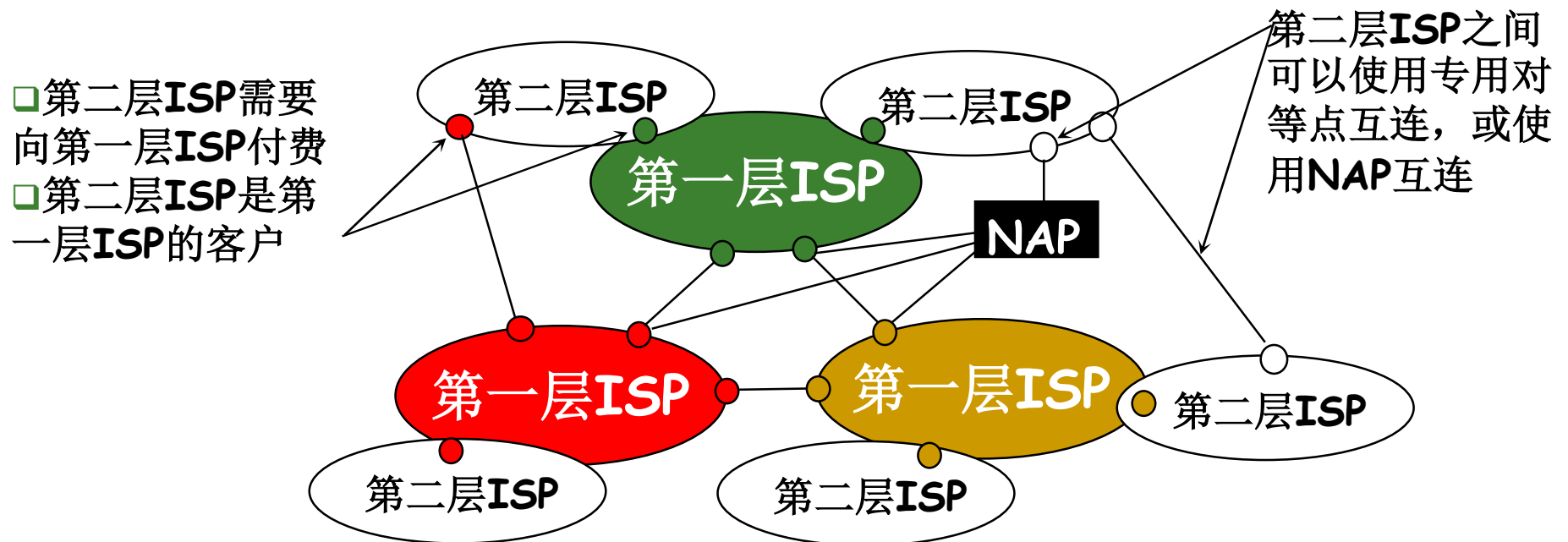


第一层也提供公用  
的网络接入点  
(NAPs)

## 第二层ISP(区域级ISP):

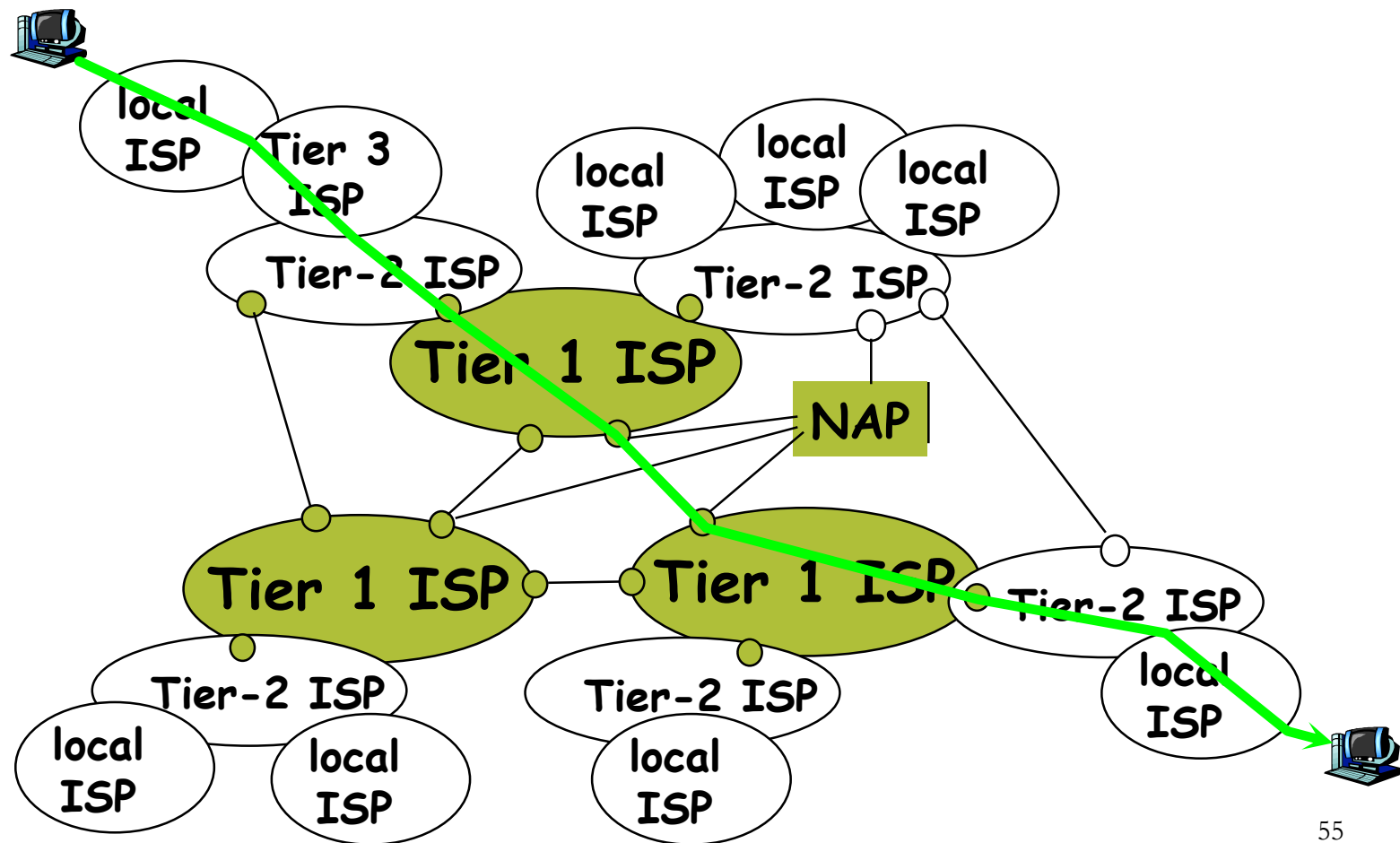
### ■ “第二层” ISPs: 较小的(通常是区域级的) ISPs

- 连接到1个或多个 tier-1 ISPs, 也可能连接其他 tier-2 ISPs



# Internet结构组成与分组传送

- 一个分组可能要穿越很多网络



# 第一章 大纲

1.1 什么是因特网

1.2 网络边缘

1.3 网络核心

1.4 分组交换网中的时延、丢包和吞吐量

1.5 协议层次和它们的服务模型

1.6 攻击威胁下的网络

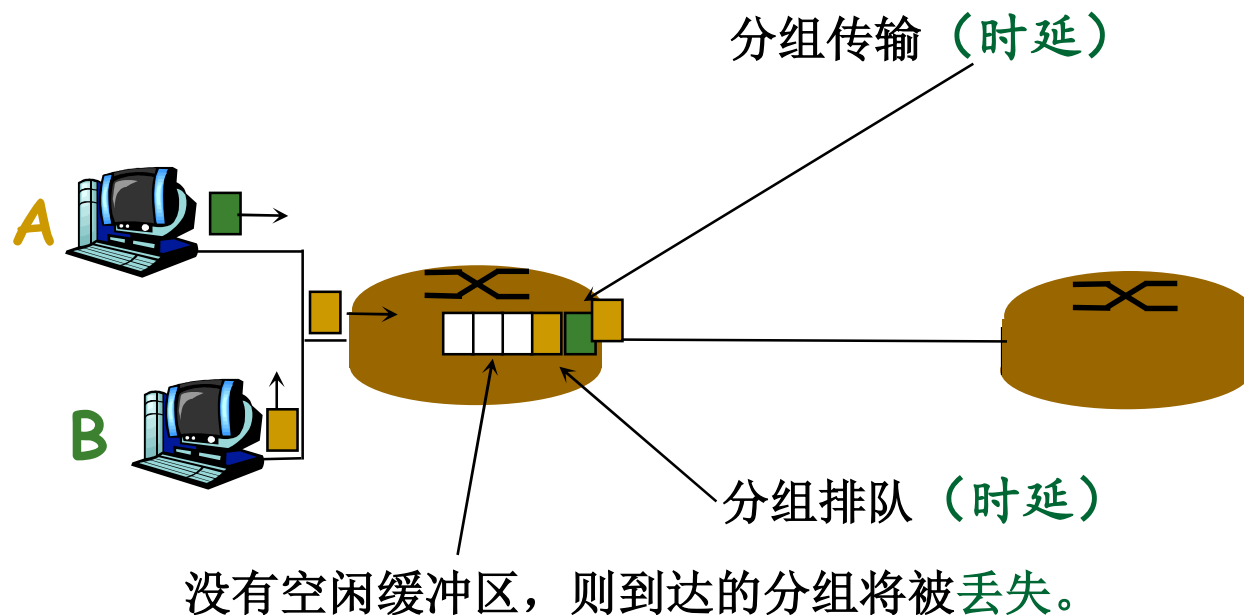
1.7 计算机网络和因特网的历史



# 1. 分组丢失和时延是如何产生的?

分组交换中，路由器采用**存储转发**

- 分组在缓冲区队列**排队**等待
- 分组到达输出链路的**速率超过输出链路的容量**,则会产生延迟,甚至丢失



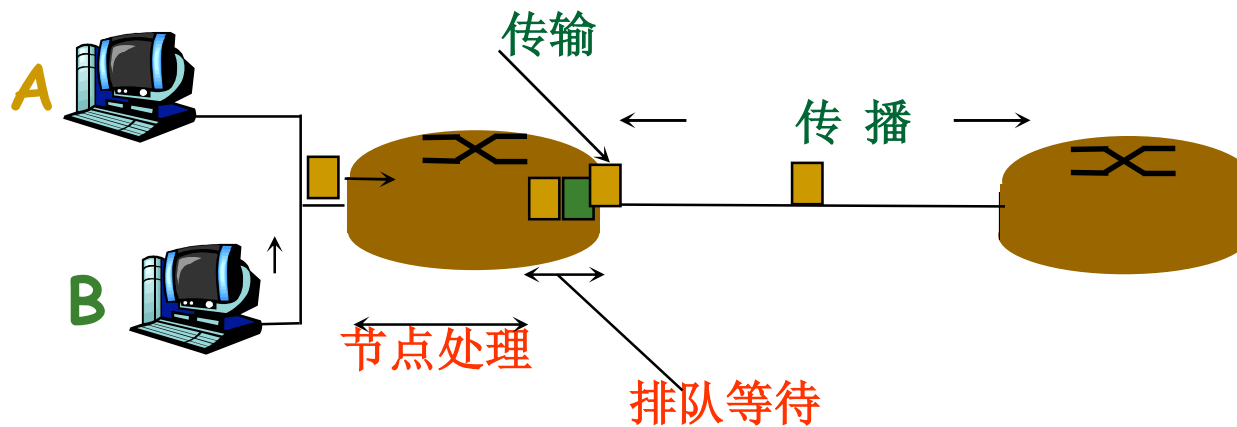
## 2. 分组延迟的4种类型

### 1. 节点处理时延 (nodal processing delay) :

- 检查错误位
- 选择输出链路

### 2. 排队时延 (queueing delay)

- 输出链路上等待传输的时间
- 取决于路由器的流量和拥塞程度



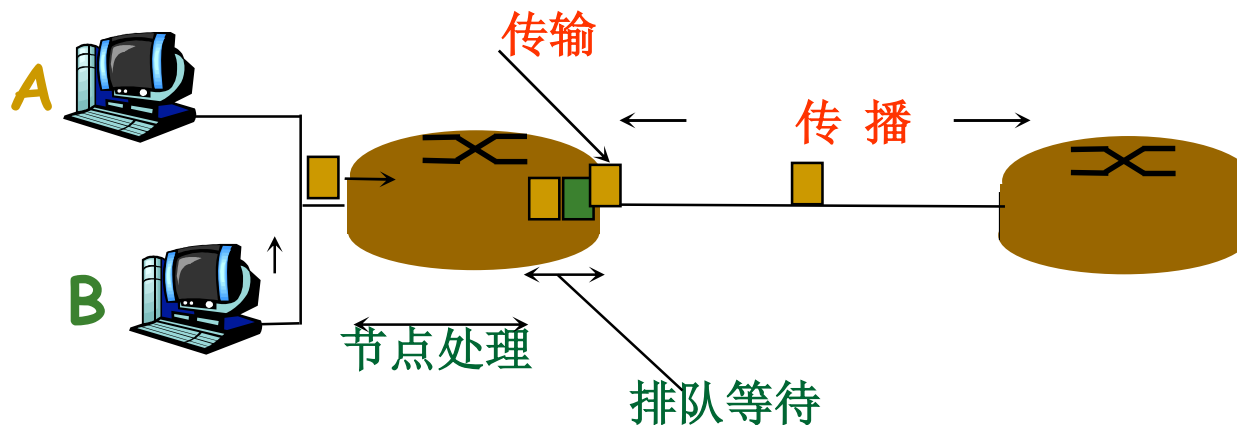
### 3. 传输时延 (transmission delay):

- $R$  = 链路带宽 (bps)
- $L$  = 分组长度 (bits)
- 发送分组比特流的时间 =  $L/R$

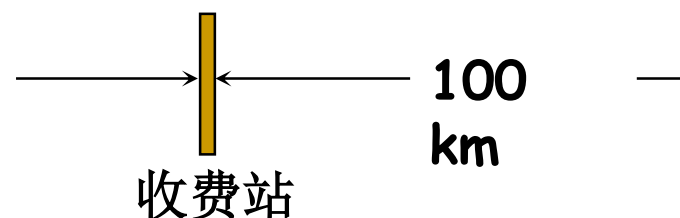
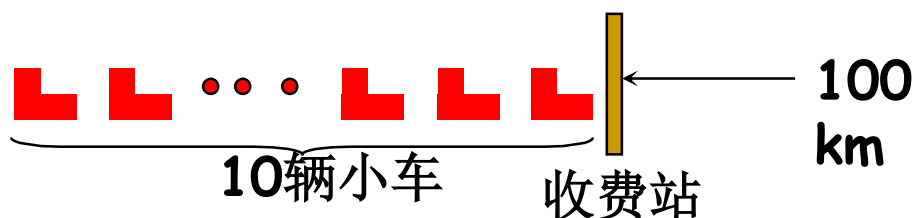
### 4. 传播时延 (propagation delay):

- $d$  = 物理链路的长度
- $s$  = 介质的信号传播速度 ( $\sim 2 \times 10^8$  m/sec)
- 传播延迟 =  $d/s$

**注意:  $s$ 和 $R$ 是两个完全不同的速度参量!**

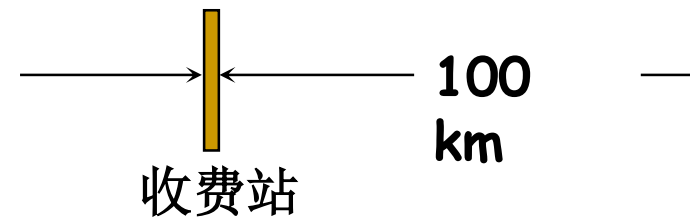
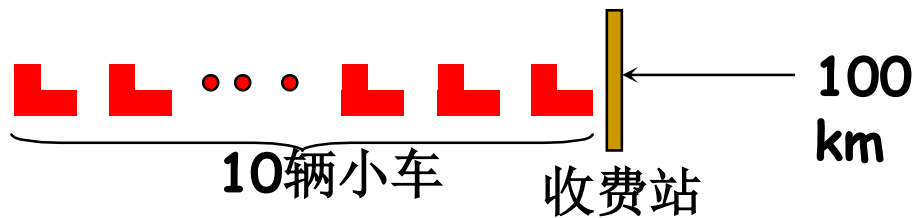


## 车队举例



- 小车公路速度: 100 km/hr
- 收费站 12 sec 服务1辆小车
- Q: 整个车队到达第2个收费站的时间?
- 1辆小车~1bit; 车队 ~ packet  
传输时延120sec  
传播时延1hr

- 整个车队通过收费站进入高速公路的时间:  
 $12\text{sec/辆} \times 10\text{辆} = 120\text{ sec}$
- 最后1辆小车从第1个收费站到第2个收费站的时间:  
 $100\text{km}/(100\text{km/hr}) = 1\text{ hr}$
- A: 62 minutes



■ 小车公路速度：1000 km/hr

■ 收费站 1 min 服务1辆小车

■ Q: 在所有小车收费全部收费完成以前，有小车到达第2个收费站吗？

■ Yes!

■ 第一1辆小车从第1个收费站到第2个收费站的时间：

$$100\text{km}/(1000\text{km/hr})= 6\text{min}$$

■ 7min过收费站后，第1辆小车到达第2个收费站，但此时还有3辆小车在第1个收费站

结论：分组在被第1个路由器发送完以前，分组的第1个位 可以传播到第2个路由器！

### 3. 总的节点延迟

$$d_{\text{nodal}} \square d_{\text{proc}} \square d_{\text{queue}} \square d_{\text{trans}} \square d_{\text{prop}}$$

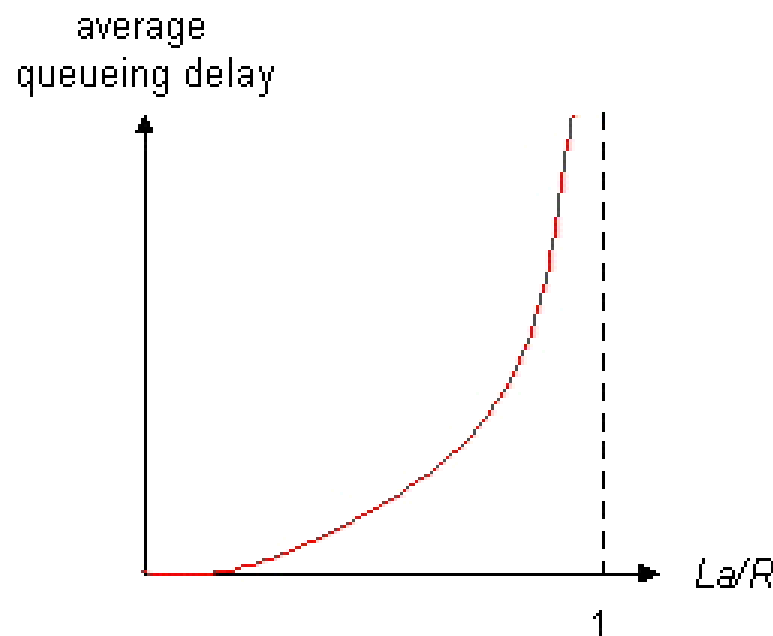
- $d_{\text{proc}}$  = 节点处理时延—nodal processing delay
  - 典型几个微秒或更小
- $d_{\text{queue}}$  = 排队时延—queuing delay
  - 取决于路由器的拥塞程度
- $d_{\text{trans}}$  = 传输时延—transmission delay
  - $= L/R$ , 低带宽链路比较显著
- $d_{\text{prop}}$  = 传播时延—propagation delay
  - 几个微秒到数百毫秒（卫星通信高传播延迟）

## 4. 排队时延(流量强度)

- $R$ =链路带宽 (bps)
- $L$ =分组长度 (bits)
- $a$ =平均分组到达率  
average packet arrival rate

定义流量强度:

$$\text{traffic intensity} = La/R$$



$La/R \sim 0$ : 分组稀疏到达, 无队列, 平均排队延迟极小, 接近于0

$La/R \rightarrow 1$ : 分组猝发到达, 形成队列, 队列长度迅速增加, 排队延迟大幅增大

$La/R > 1$ : 输出队列到达速率超过送走的极限速率, 输出队列持续增长, 排队延迟趋于无穷大。

## 5. 端到端延迟

前面集中讨论单台路由器节点的延迟  
假设

1. 源到目的端之间存在 $Q-1$ 个路由器
2. 无拥塞(从而忽略不计排队延迟)

则所有节点延迟累加就是端到端延迟

$$d_{\text{end-end}} = Q(d_{\text{proc}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}})$$



## 6. 真实的Internet 时延和路由

■ 真实的Internet分组时延和丢失看起来怎么样呢？

■ Traceroute 程序

提供从源节点至目的节点路径上所有路由器的延迟测量。

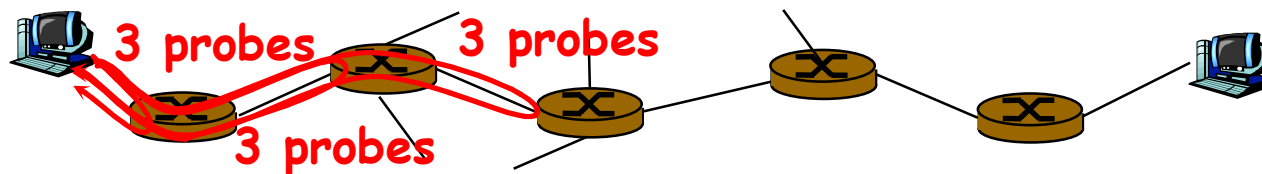
■ 从源节点到目的节点路径上：

□ 发送**3个分组**到沿路**每个路由器**（router  $i$ ）

□ 路由器（router  $i$ ）将**返回发送者3个分组**

□ 发送方在发送和响应**期间计时**


■ 推荐访问<http://www.traceroute.org>



# 真实的Internet 延迟和路由


traceroute: gaia.cs.umass.edu to www.eurecom.fr

Three delay measurements from  
gaia.cs.umass.edu to cs-gw.cs.umass.edu




```
1 cs-gw (128.119.240.254) 1 ms 1 ms 2 ms
2 border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145) 1 ms 1 ms 2 ms
3 cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130) 6 ms 5 ms 5 ms
4 jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129) 16 ms 11 ms 13 ms
5 jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136) 21 ms 18 ms 18 ms
6 abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (198.32.11.9) 22 ms 18 ms 22 ms
7 nycm-wash.abilene.ucaid.edu (198.32.8.46) 22 ms 22 ms 22 ms
8 62.40.103.253 (62.40.103.253) 104 ms 109 ms 106 ms
9 de2-1.de1.de.geant.net (62.40.96.129) 109 ms 102 ms 104 ms
10 de.fr1.fr.geant.net (62.40.96.50) 113 ms 121 ms 114 ms
11 renater-gw.fr1.fr.geant.net (62.40.103.54) 112 ms 114 ms 112 ms
12 nio-n2.cssi.renater.fr (193.51.206.13) 111 ms 114 ms 116 ms
13 nice.cssi.renater.fr (195.220.98.102) 123 ms 125 ms 124 ms
14 r3t2-nice.cssi.renater.fr (195.220.98.110) 126 ms 126 ms 124 ms
15 eurecom-valbonne.r3t2.ft.net (193.48.50.54) 135 ms 128 ms 133 ms
16 194.214.211.25 (194.214.211.25) 126 ms 128 ms 126 ms
17 * * *
18 * * *
19 fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142) 132 ms 128 ms 136 ms
```

越洋链路  
trans-oceanic  
link



\* means no reponse (probe lost, router not replying)



## 7. 分组丢失

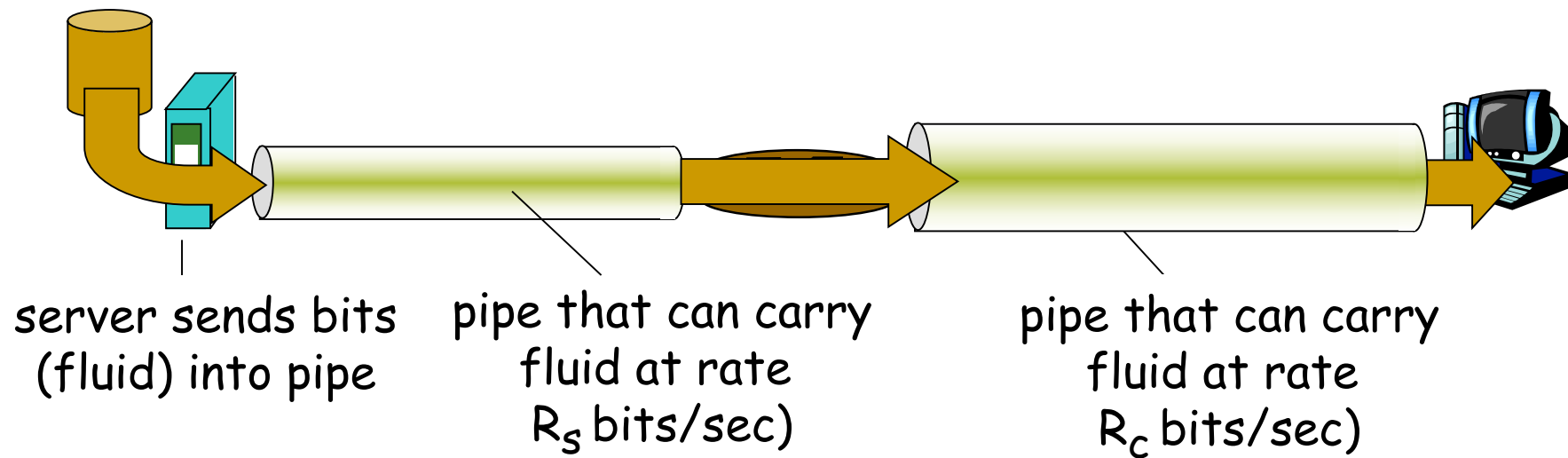
- 路由器输出**链路缓冲区的容量有限**
- 当分组到达路由器输出队列发现**缓冲区队列已满**，路由器只好丢弃分组
- 丢失的分组可能被前一路由节点或源节点重传，或不重传

## 8. 吞吐量 (Throughput)

■ **吞吐量**：接收端接收到数据的比特速率 (bps )

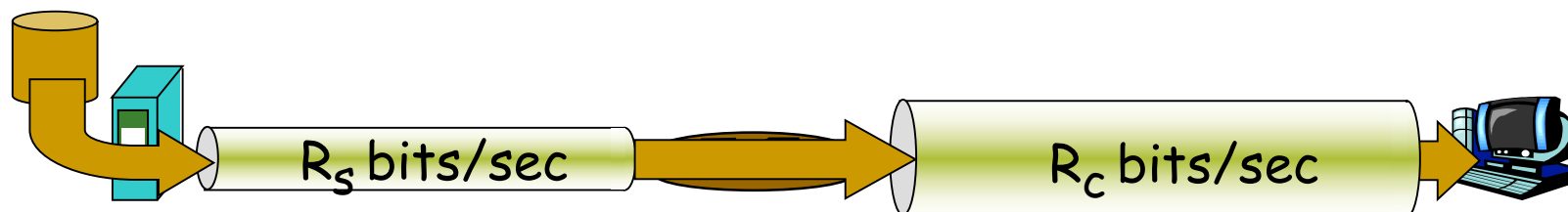
□ **瞬时吞吐量**：某一瞬间的吞吐量

□ **平均吞吐量**：一段时间内的吞吐量均值

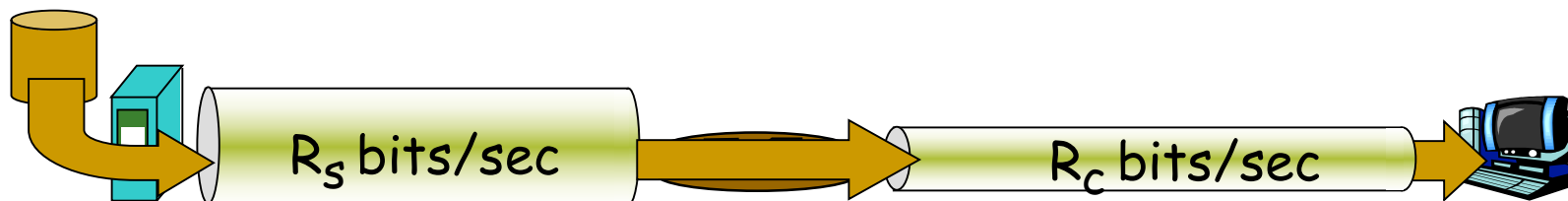


思考

■  $R_s < R_c$  What is average end-end throughput?



□  $R_s > R_c$  What is average end-end throughput?



吞吐量是:  $\min\{R_s, R_c\}$

什么是瓶颈链路

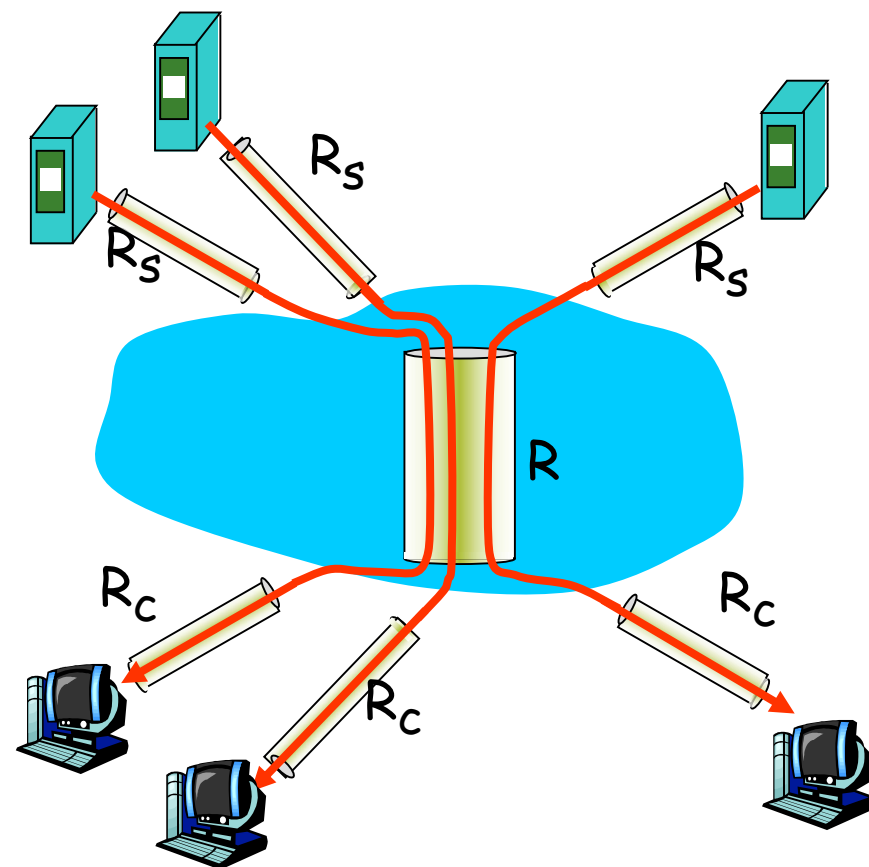
(Bottleneck Link)

link on end-end path that constrains end-end throughput

在端到端路径中制约吞吐量的链路

## 吞吐量：因特网中的情景

- 每个链路的吞吐量：  
 $\min(R_c, R_s, R/10)$
- 实际情况：
  - 核心设备很少出现拥塞
  - $R_c$  or  $R_s$  经常成为瓶颈，其吞吐量为：  
 $\min(R_c, R_s)$



10 connections (fairly) share  
backbone bottleneck link  $R$  bits/sec

# 第一章 大纲

1.1 什么是因特网

1.2 网络边缘

1.3 网络核心

1.4 分组交换网中的时延、丢包和吞吐量

1.5\* 协议层次和它们的服务模型

1.6 攻击威胁下的网络

1.7 计算机网络和因特网的历史

## 1.5.1 分层的体系结构

Internet极端复杂:

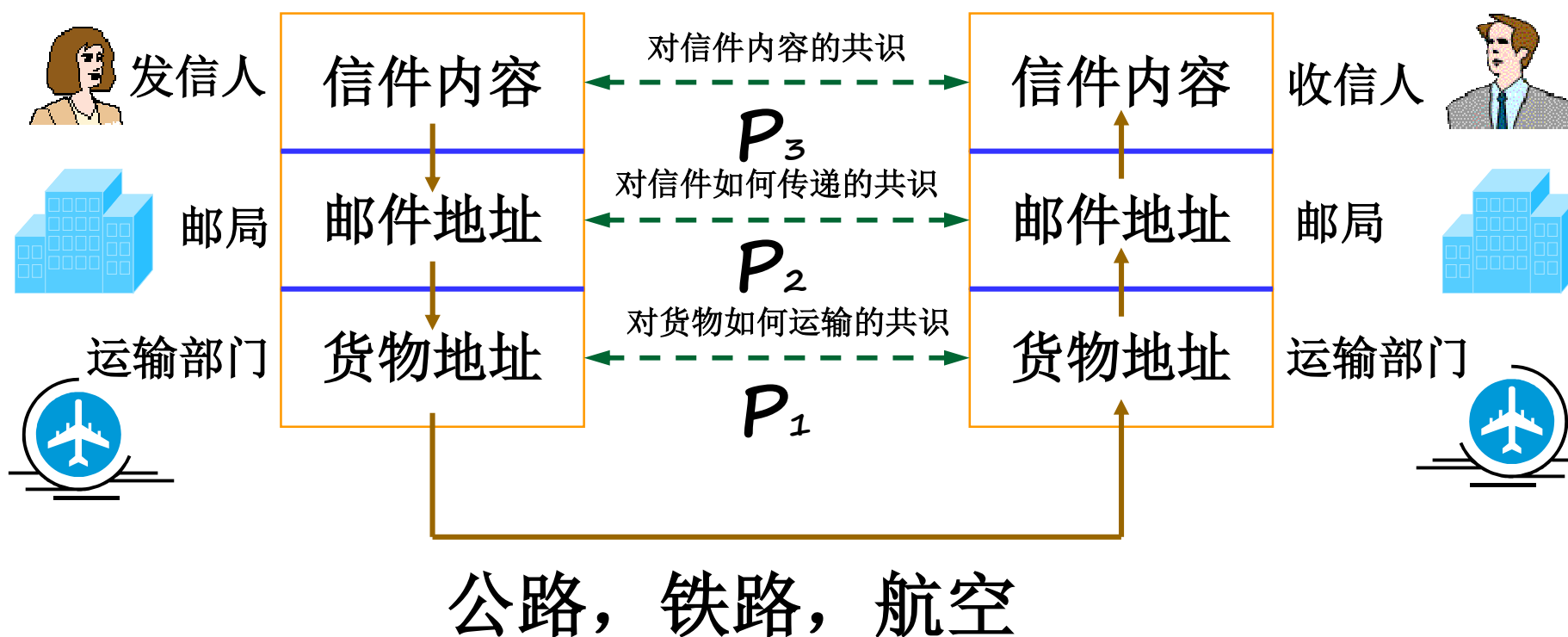
- ☐ 主机 (hosts)
- ☐ 路由器 (routers)
- ☐ 各种介质链路 (links of various media)
- ☐ 应用程序 (applications)
- ☐ 协议 (protocols)
- ☐ 硬件和软件 (hardware & software)

分层

● 如何组织网络体系结构呢?  
● 如何描述Internet这样一个复杂的网络系统呢?



# 例子：邮政系统-两个人收发信件



分层: 每层实现一个服务  
自己本层的具体实现  
直接使用下层提供的服务

# 为什么要分层?

处理复杂的系统:

- 清晰的分层结构, 允许对大型复杂系统的特定部分做探讨, 并可探讨其各部分之间的关系
  - 分层参考模型的讨论
- 简化了系统的维护、升级
  - 改变其某一层服务的具体实现对系统其余部分透明(不影响)

各层所有协议称为协议栈 (protocol stack)

有两个协议栈: ISO的OSI协议栈和TCP/IP协议栈

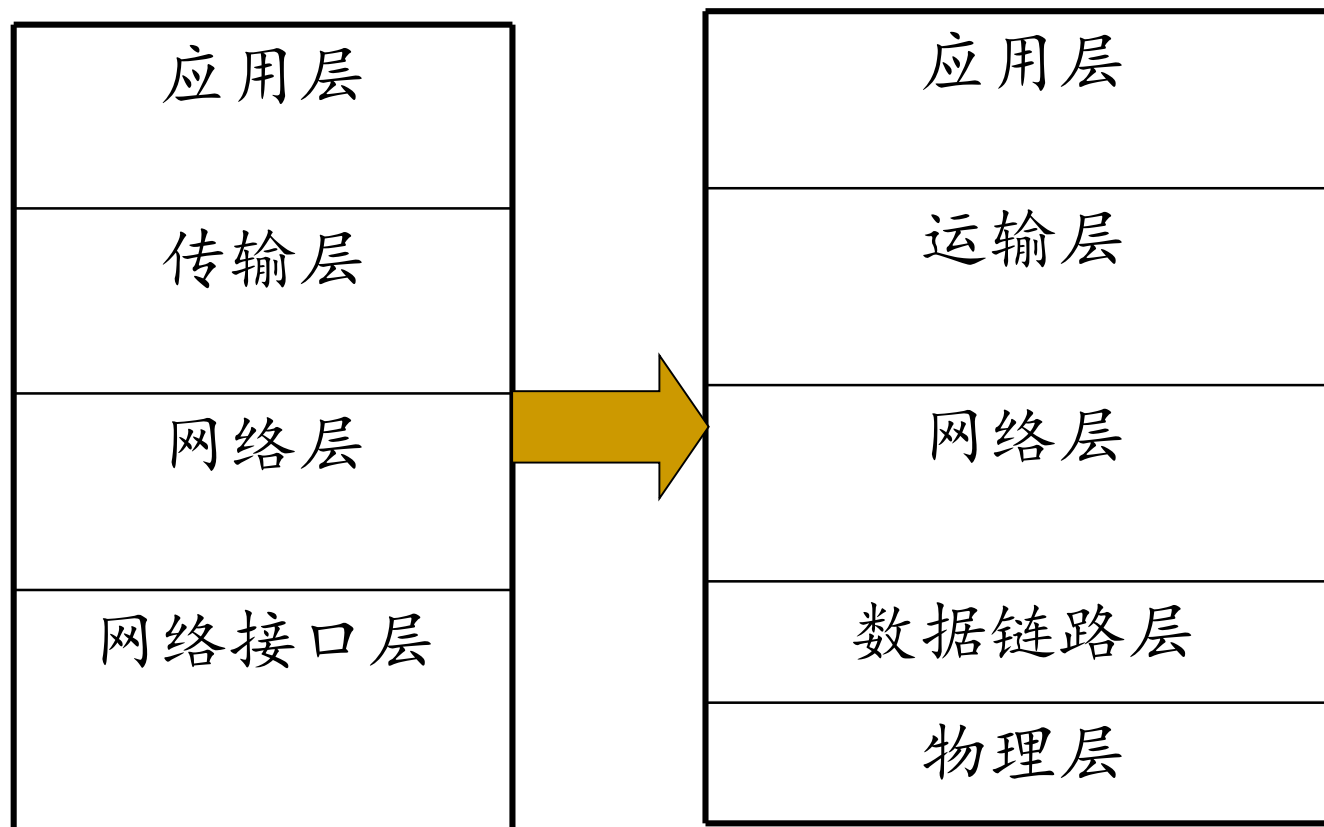
# 分层的潜在缺点

- 某层可能重复较低层的功能，比如差错检测
- 某些层可能需要仅在其他层才出现的信息，比如时间戳

# ISO: OSI七层参考模型

层号	层的名称	层的英文名称	层的英文缩写
7	应用层	Application	A
6	表示层	Presentation	P
5	会话层	Session	S
4	传输层	Transport	T
3	网络层	Network	N
2	数据链路层	Data Link	DL
1	物理层	Physical	PL

# TCP/IP参考模型



缺少表示层和会话层，这两层由应用程序开发者来处理

## Internet网协议栈

■ **应用层**: 支持网络应用, **报文(message)** 传送

□ FTP, SMTP, HTTP ...

■ **传输层**: 主机进程间 **报文段(segment)** 传送

□ TCP, UDP

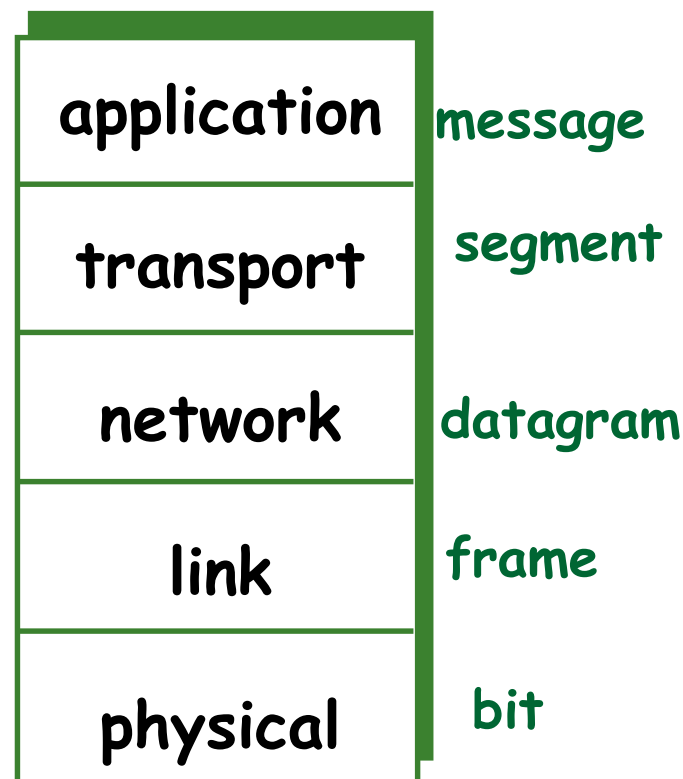
■ **网络层**: 主机间 **数据报(datagram)** 传送

□ IP 协议, 路由协议 ...

■ **链路层**: 相邻节点间的 **数据帧(frame)** 传送

□ PPP, Ethernet ...

■ **物理层**: 物理介质上的 **比特** 传送  
各层数据称为 **协议数据单元PDU**



# 分层：逻辑通信

**实体：**定义自身功能的硬/软件的集合  
**对等实体：**两台计算机上同一层所属的程序、进程或实体称为该层的对等程序、对等进程或对等实体。

各层：

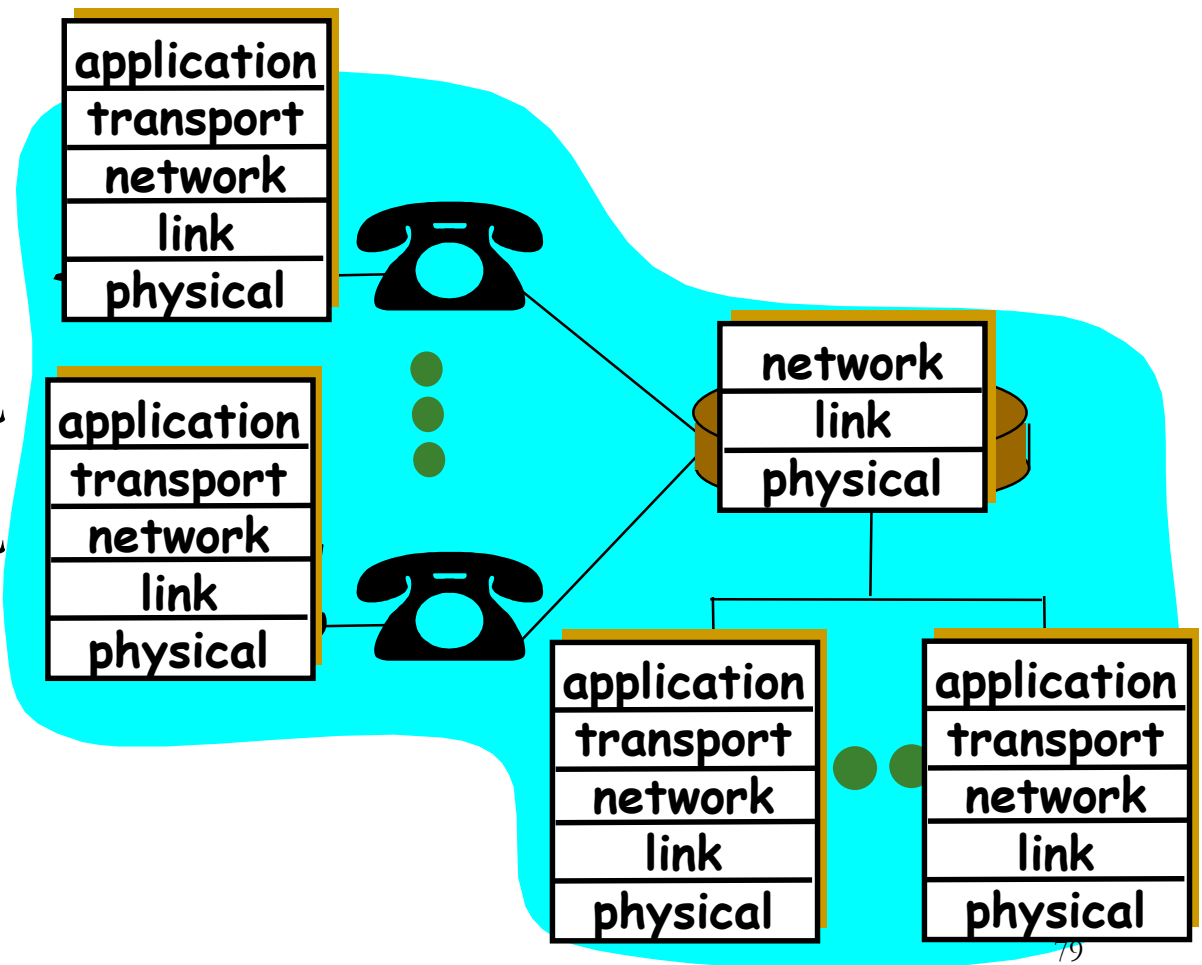
■ 在各节点实现了各层的功能

□ **主机**实现5层功能

□ **路由器**实现3层功能

□ **交换机**实现2层功能

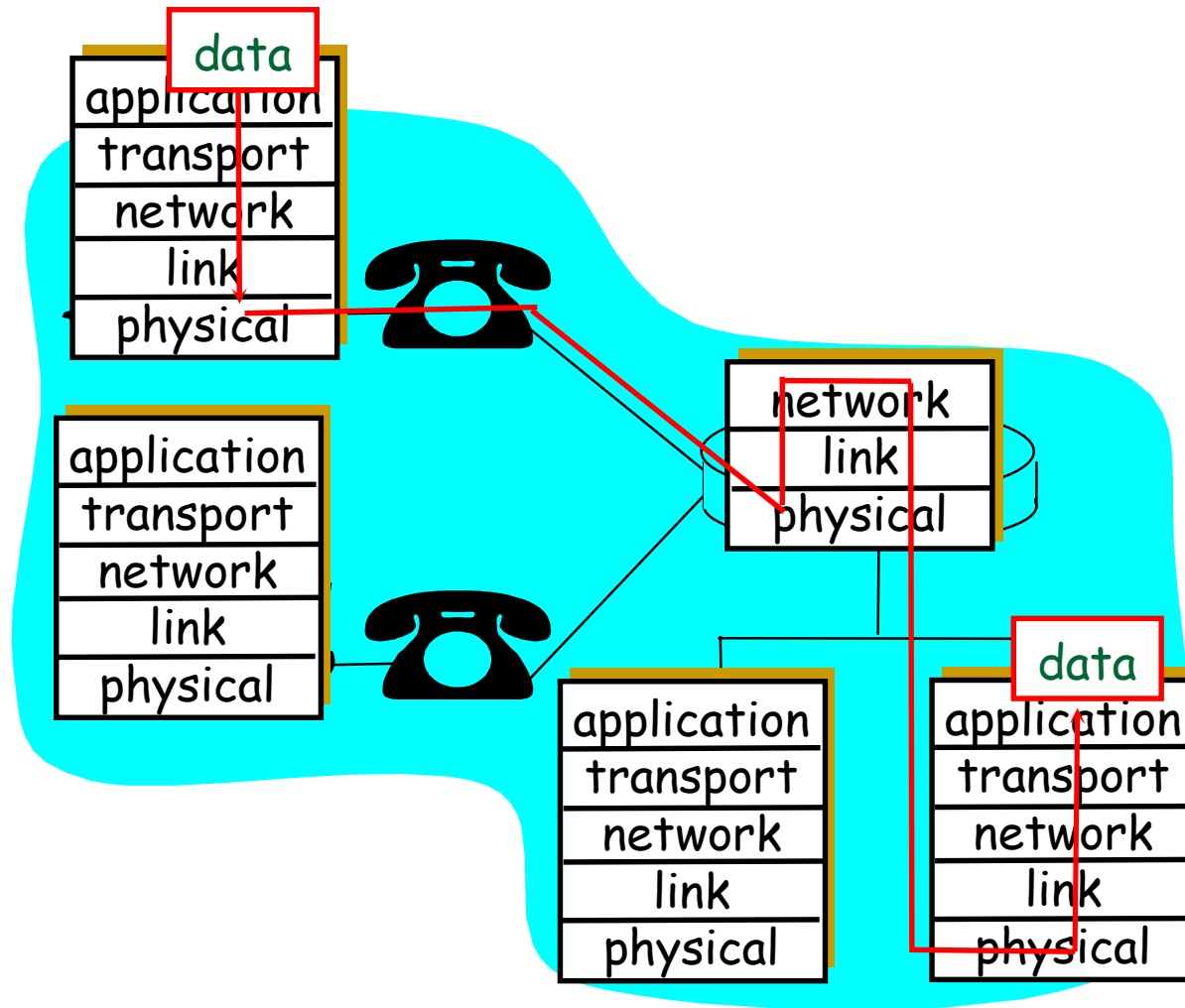
■ 网络实体完成功能动作, 对等实体交换消息



**逻辑通信:** 对等实体间通信 (同一层)



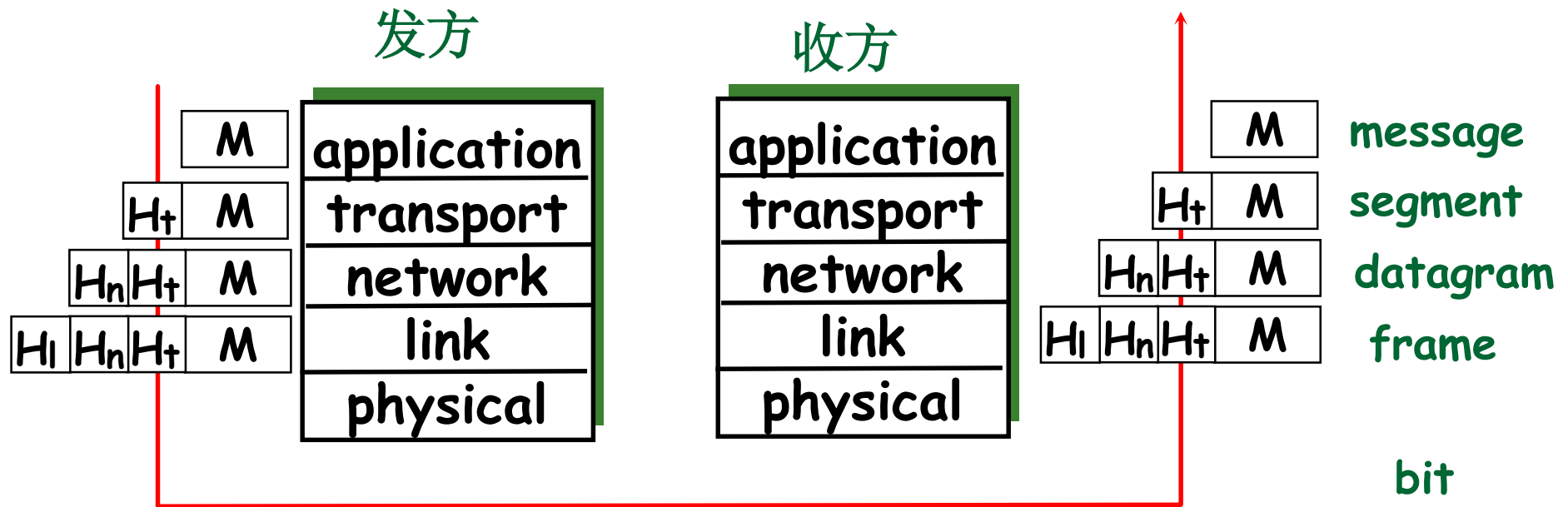
## 分层: 物理通信



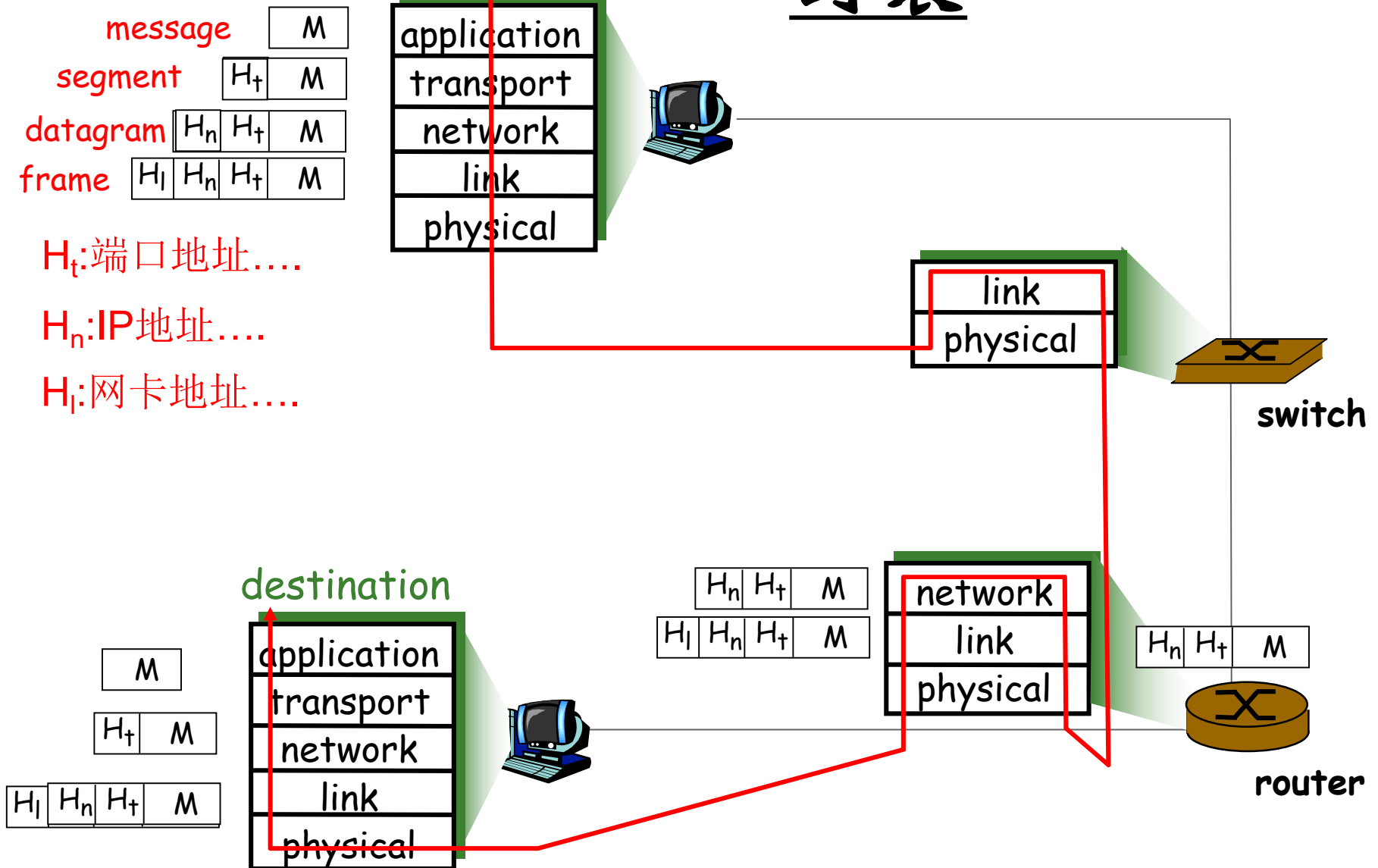
# 协议分层与数据

发方从上层往下层，收方从下层往上层传递数据

- 发方添加头部信息创建新的数据单元，收方去掉数据单元的头部
- 传递新的数据单元到下层/上层
- 各层传送不同的协议数据单元



# 封装



# 第一章 大纲

1.1 什么是因特网

1.2 网络边缘

1.3 网络核心

1.4 分组交换网中的时延、丢包和吞吐量

1.5 协议层次和它们的服务模型

1.6 攻击威胁下的网络

1.7 计算机网络和因特网的历史

# 1.6 攻击威胁下的网络

- 网络并非安全，攻击者试图攻击与因特网相连的计算机，侵犯我们的隐私，危及我们的数据安全。
- 攻击方式：
  - 植入恶意软件
  - 攻击服务器和网络基础设施
  - 嗅探分组
  - 伪装
  - 修改或删除报文

# 1. 植入恶意软件

## ■ 僵尸网络

## ■ 病毒

- ☐ 需要用户交互
- ☐ 通过接收数据感染 (e.g., e-mail attachment), 并主动执行。
- ☐ 自复制

## ■ 蠕虫

- ❖ 无需明显交互
- ❖ 主机通过接收的数据被感染
- ❖ 自复制

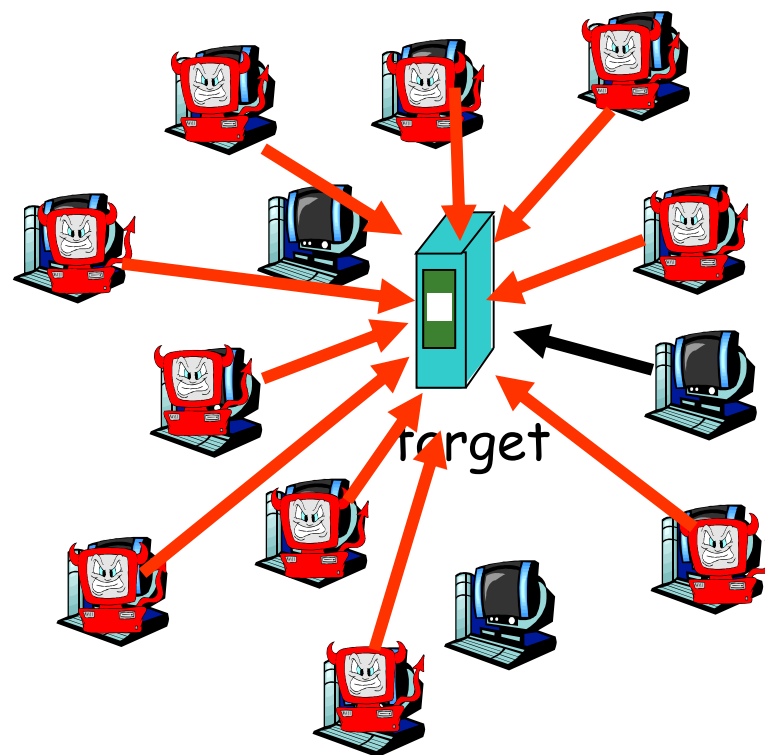
## ■ 木马

## 2. 攻击服务器和网络基础设施

### ■ 拒绝服务攻击 (DoS)

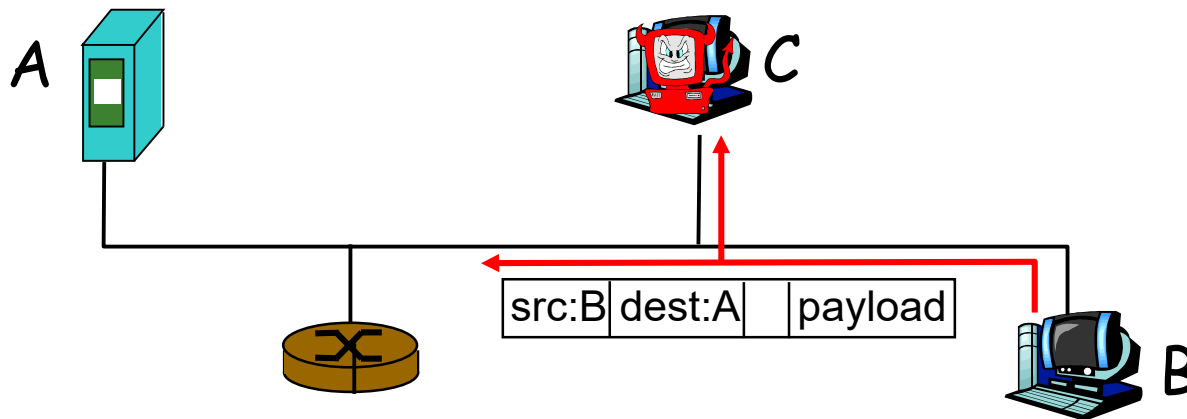
#### ■ 三种类型

- ☐ 弱点攻击
- ☐ 带宽洪泛
- ☐ 链接洪泛



### 3. 嗅探分组

- 分组嗅探器：记录每个流经的分组拷贝的被动接收机
- 容易受到攻击的网络：无线网络和以太网LAN

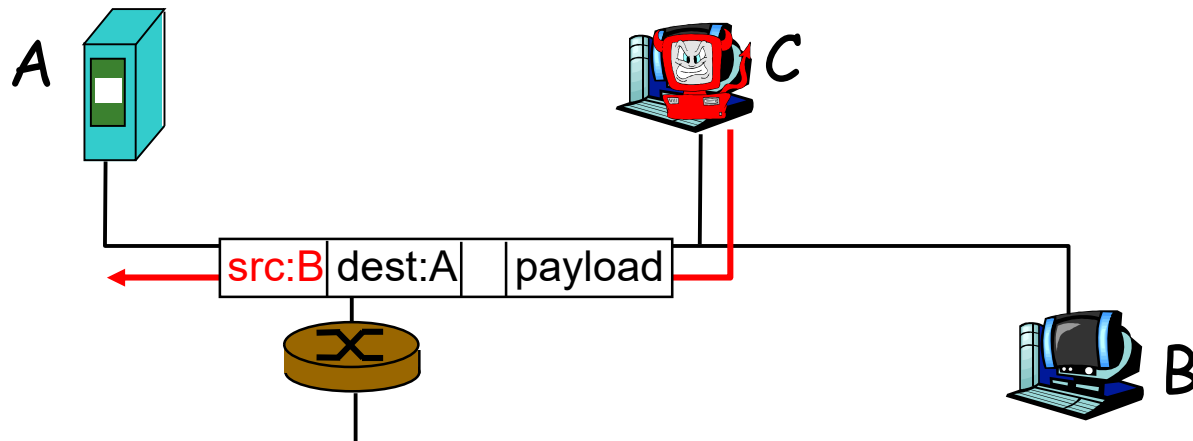


- ❖ Wireshark software used for end-of-chapter labs is a (free) packet-sniffer



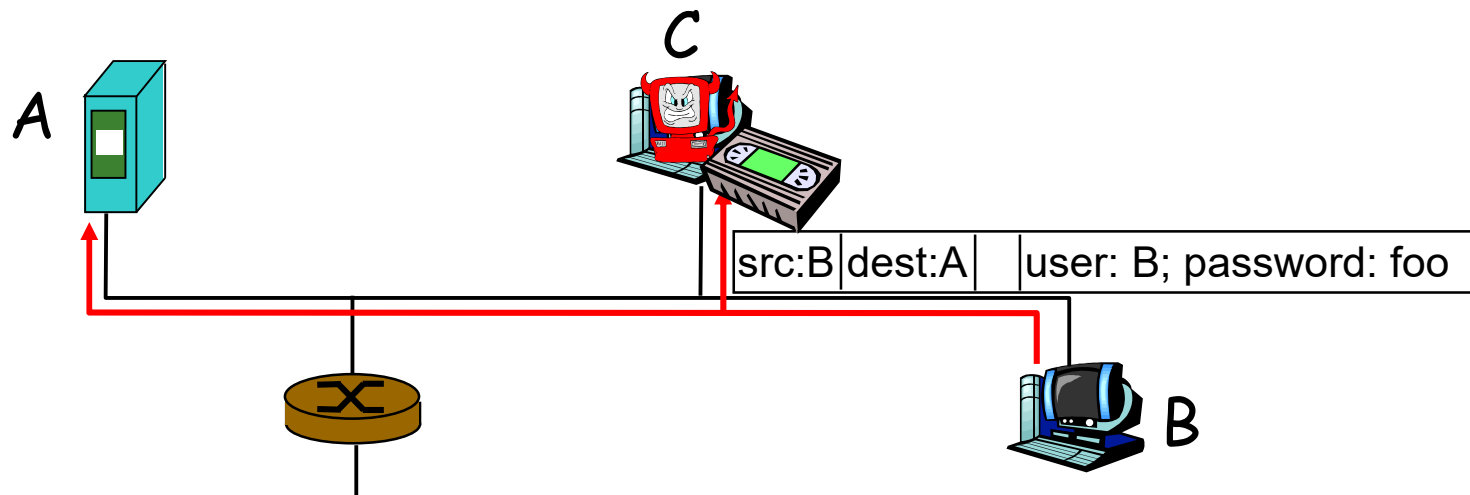
## 4. 伪装

- 生成具有任意源地址、分组内容和目的地址的分组，然后将这个人工制作的分组传输到因特网中
- 将具有虚假源地址的分组注入因特网的能力称为 **IP 哄骗 (IP Spoofing)**
- 解决方法采用端点鉴别机制



## 5. 修改或删除报文

- 中间人攻击 (man-in-middle attack)
- 记录-重放 (record-and-playback)



# 第一章 大纲

1.1 什么是因特网

1.2 网络边缘

1.3 网络核心

1.4 分组交换网中的时延、丢包和吞吐量

1.5 协议层次和它们的服务模型

1.6 攻击威胁下的网络

1.7 计算机网络和因特网的历史

# 计算机网络和Internet发展史

如果说18世纪是机械时代，19世纪是蒸汽机时代，人类用机器来代替手。那么20世纪则是计算机时代，人类开始用机器来代替脑。而21世纪则将是信息时代，或者说是网络时代。

计算机网络和Internet可以追溯到1960s。当时，电话网络使用电路交换技术传输信息，分时操作系统计算机允许散布各地的用户通过电话网络共享使用。但是通信量的突发性却导致线路利用率极低。

# 1. 分组交换原理的早期发展与演化: 1961-1972

- **1961:** Kleinrock - 用排队理论成功的论证了分组交换方法在处理猝发通信量上的有效性
- **1964:** Baran - 在军用网络上传输语音, 研究使用分组交换技术
- **1967:** 美国国防部高级研究计划署DARPA始建ARPAnet
- **1969:** 第1台ARPAnet接口消息处理机IMP研制并安装使用
- **1972:**
  - Robert Kahn首次公开演示ARPAnet
  - 制订第1个主机到主机的协议NCP (Network Control Protocol)
  - 研制第1个电子邮件程序
  - ARPAnet 增长到15个节点

## 2. 网际互连与新兴的专属网络: 1972- 1980

- 1970: ALOHAnet微波网络出现在Hawaii
- 1973: Robert Metcalfe's PhD论文提出了Ethernet
- 1974: Vinton Cerf and Robert Kahn
  - 网际互连的网络体系结构
- late70's: 专属网络体系结构: DECnet, SNA, XNS
- late70's: 固定长度的分组交换(ATM先驱)
- 1979: 200个节点连接到ARPAnet
- Cerf and Kahn's 开放网络体系结构的系统设计原则:
  - 最简单化,自治原则 - 网络独立运作, 与其他网络互连时无须进行内部改动
  - 尽力服务原则- 提供尽最大努力的端到端服务
  - 无状态路由器 - 路由器无须维护连接状态信息
  - 分散式控制
- 定义了当今Internet体系结构的理论基础

### 3. TCP/IP新协议与网络数量激增：1980-1990

- 1983: 正式部署TCP/IP替代NCP
- 1982: 定义了SMTP e-mail协议
- 1983: 开发了DNS 实现 name-to-IP-address 转换
- 1985: 定义了FTP protocol
- 1988: 实现了TCP congestion control
- late80's: 新的国家网络: Csnet, BITnet, NSFnet, Minitel
- late80's: 100,000主机连接到多个网络组成的联盟

### 3. 商业化, Web, 新的网络应用: 1990-2000

- **Early 1990's:** ARPAnet完成使命终结
- **1991:** NSF放宽NSFnet的商业使用限制 (1995完成使命终结)
- **early 1990s:** Web
  - 超文本 [源于Bush 1945, Nelson 1960's的早期研究]
  - HTML, HTTP: 由Berners-Lee及其同事开发
  - 1994: Mosaic浏览器及公司, 后来Netscape
  - late 1990's: Web的商业使用
  - 1996: Microsoft大规模进军Web

#### **Late 1990's - 2000's:**

- 电子商务应用激增
- 高速路由器和路由技术以及高速局域网技术进展显著
- 音视频流媒体实时通信、播放的成功应用
- 更多的杀手级应用: 及时通信IM, P2P文件共享 (e.g., Napster)
- 网络安全走向前沿
- 估计5千万主机, 1亿多用户
- 主干链路带宽达到 Gbps



“网络就是计算机” “以网络为中心的计算。”

## 第25次中国互联网发展状况统计报告

2010年1月,中国互联网络信息中心CNNIC发布了第25次《中国互联网发展状况统计报告》, 截止2009年12月中国网民总数已达到3.84亿。

# 第一章：复习大纲

- 计算机网络的定义
- 协议的定义和基本要素
- Internet的构成描述：
  - 具体构成：边缘（端系统，包括软件和硬件）、核心、接入网络和物理介质
  - 网络交换方式：电路和分组
  - 电路：时分和频分
  - 分组：数据报和虚电路
- 分组交换网络中的延迟及其计算
- TCP/IP的分层模型，各层PDU的名称和功能

# 第一章

## 1. 计算机网络定义

具体构成：网络边缘、网络核心、通信链路

## 2\*. Internet

服务：作为通信基础设施提供服务

面向连接的TCP服务：可靠按序、流控、拥塞控制

无连接的UDP服务：不可靠，无流控和拥塞控制

## 3. 协议定义、协议三要素：语法、语义和同步

## 4. 网络边缘：主机/端系统，运行网络应用程序，通过API使用Internet提供的服务

## 5\*. 网络核心

电路交换

分组交换

	电路交换	分组交换
建立连接	需要	不需要
链路资源	分片（FDMA, TDMA），独占分片资源	共享，可占用整个链路资源
顺序	按序	失序
资源利用率	资源预留，低负载时低	较高，按需使用
服务保证（时延和丢失）	电路级性能	不保证

6. 接入网络 { 住宅接入: **ADSL, HFC**  
机构接入: 以太网  
无线接入: **WLAN, 3G, 4G**, 卫星

7. 物理介质: 双绞线、同轴电缆、光纤、无线电磁波

8. Internet 主干结构: 松散分层, 三层ISP

9\*. 网络性能指标: 时延、丢包和吞吐量

为何产生时延和丢失? 路由器到达分组速度高于输出分组速度, 产生排队; 缓冲有限

- 时延 { 节点处理时延: 和路由器性能相关  
排队时延: 和路由器流量有关。流量强度:  $\lambda a/R$   
传输时延: 分组长度  $L$ /链路带宽  $R$   
传播时延: 链路物理长度  $d$ /信号传播速度  $s$

吞吐量: 瞬时吞吐量、平均吞吐量, Kbit; 吞吐率 Kbit/s (kbps)  
受瓶颈链路带宽的制约

## 10\*. 分层体系结构TCP/IP模型

应用层: 支持多种网络应用, 完成报文(message)传送, HTTP, SMTP, DNS, QQ.....

传输层: 完成主机进程间报文段(segment)传送, TCP, UDP协议

网络层: 完成主机间数据报(datagram)传送

链路层: 完成相邻节点间的数据帧(frame)传送

物理层: 完成物理介质上的比特传送

主机实现5层功能, 路由器实现3层功能, 交换机实现2层功能

端到端通信发生在传输层之上

## 11. 应用层数据的封装与解封装

发送方传递新的数据单元到下层, 该层添加头部信息创建新的数据单元, 直至由物理层发送至介质上

接收方由物理介质收到底层数据单元, 去掉该层头部信息, 获得封装的上层数据, 并向上层传递, 直至到达应用层



# 本章作业（第七版）

■ R12、R18、R19、R23

■ P6、P8、P10、P25