



# 计 算 机 网 络

2025年软件学院

# 教学目标

- **理论学习**：较为系统地学习计算机网络的基本工作原理，掌握计算机网络的体系结构、网络协议、网络互联等方面的知识，了解新的网络技术。
- **上机实验**：通过实验实践教学环节，使学生更进一步认识和理解计算机网络相关理论，初步掌握路由器等网络设备的配置。

# 教材及参考书

## ► 教材

- ◆ 计算机网络：自顶向方法 (第7/8版) James F. Kurose (陈鸣 译)  
) 机械工业出版社
- ◆ Computer Networking: A Top Down Approach, 8th Edition, James Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley, March 2012

## ► 参考书

- ◆ 计算机网络 Tanenbaum A .S.著, 潘爱民 译, 清华大学出版社
- ◆ 计算机网络 谢希仁 著, 电子工业出版社

# 课程成绩构成

## 课程考核

- ⑩ 出勤与作业 (10%)
- ⑩ 实验成绩 (20%)
- ⑩ 期末成绩 (70%)

## 学习资料获取

- ⑩ 学院FTP
- ⑩ QQ群

# 课程内容

- 第1章 计算机网络和因特网（4学时）
- 第2章 应用层（4学时）
- 第3章 运输层（8学时）
- 第4章 网络层：数据平面（4学时）
- 第5章 网络层：控制平面（4学时）
- 第6章 链路层和局域网（12学时）
- 第7章 无线网络和移动网络（4学时）

# 第1章 计算机网络和因特网

# 第1章 计算机网络和因特网

## 我们的目标:

- 找到“**感觉**”，学习术语
- 在后面的课程中更深入地学习，更为细致
- 方法:使用因特网为例

## 概述:

- 什么是因特网
- 什么是协议
- 网络边缘
- 网络核心
- 因特网/ISP结构
- 性能：丢包率，时延，吞吐量
- 协议层次，服务模型
- 安全

## ➤ 1.1 什么是因特网?

### ➤ 1.2 网络边缘

### ➤ 1.3 网络核心

### ➤ 1.4 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量

### ➤ 1.5 协议层次和它们的服务模型

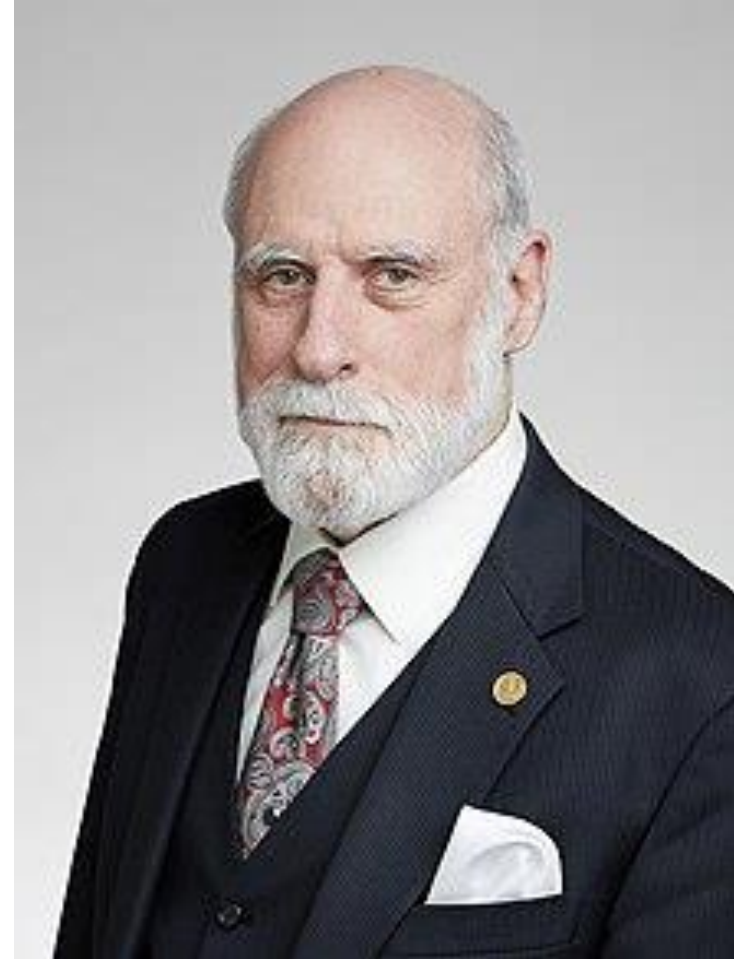
### ➤ 1.6 因特网的历史和安全



# 计算机网络的起源

**Vinton Gray Cerf** (born June 23, 1943) is an American Internet pioneer and is recognized as one of "the fathers of the Internet", sharing this title with TCP/IP co-developer **Bob Kahn**.

He has received honorary degrees and awards that include the National Medal of Technology, the Turing Award, the Presidential Medal of Freedom, the Marconi Prize, and membership in the National Academy of Engineering.





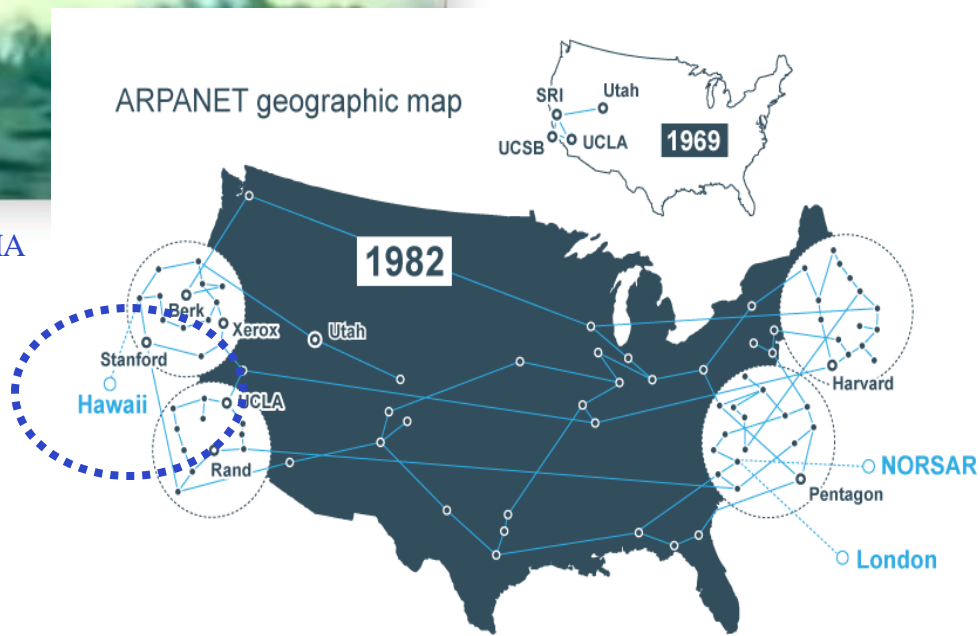
# World Science Festival

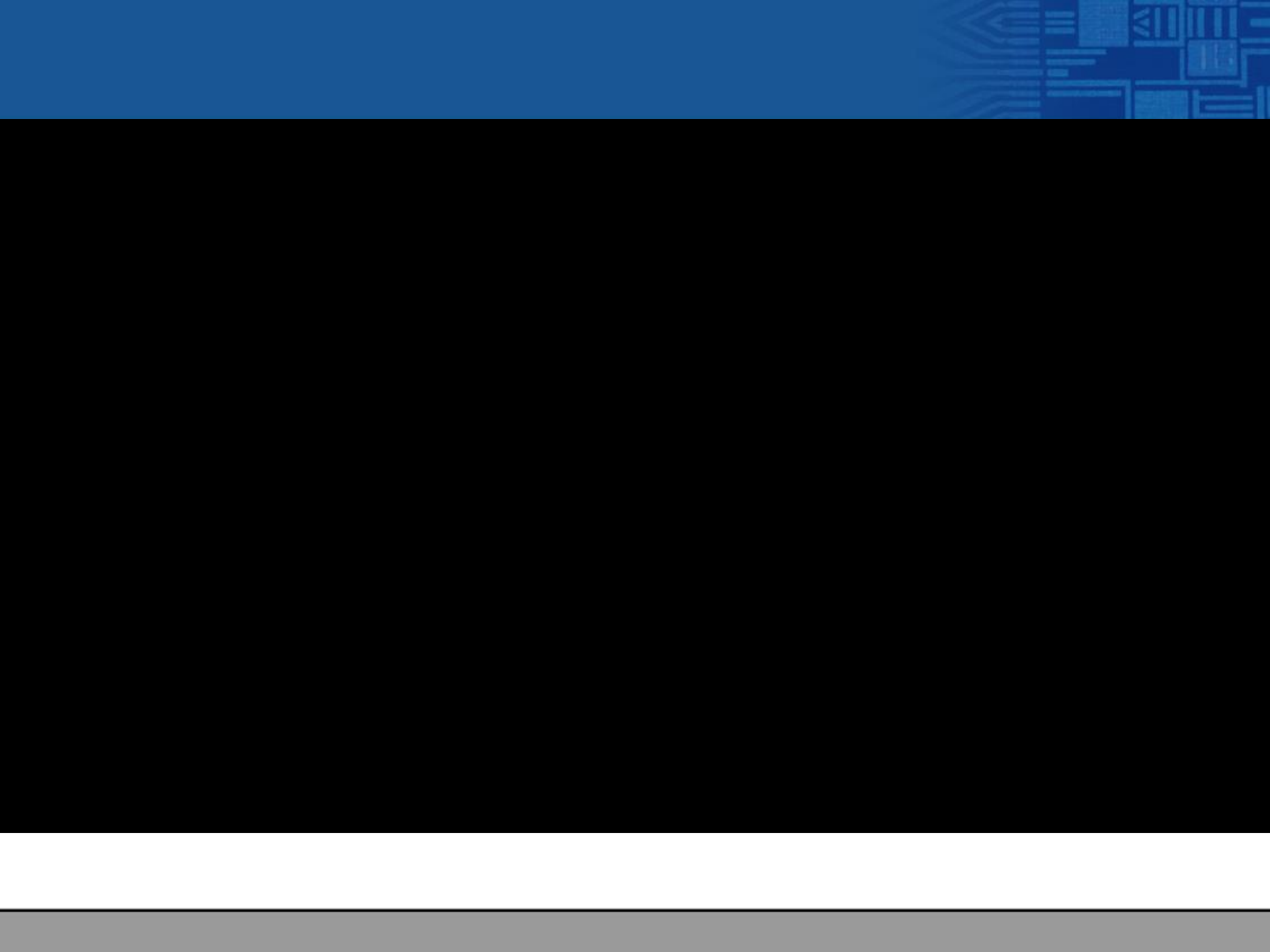
# 计算机网络的起源



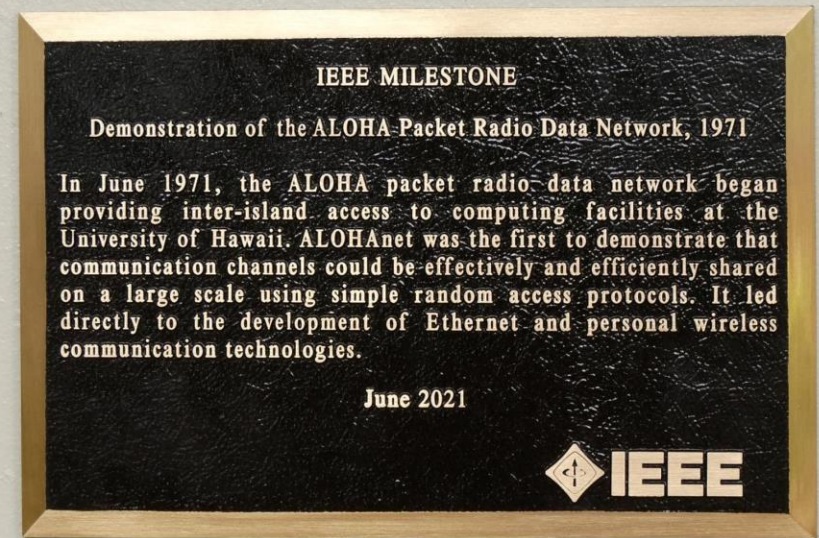
ALOHA

Dr. Norman Abramson and ALOHAnet





# 计算机网络的起源



**IEEE Spectrum** FOR THE TECHNOLOGY INSIDER

Q Type to search

NEWS | [THE INSTITUTE](#)

## ALOHAnet Introduced Random Access Protocols to the Computing World > Now an IEEE Milestone, the data network was the first to use wireless communications

BY [JOANNA GOODRICH](#) | 12 AUG 2020 | 3 MIN READ |

# 什么是因特网：“具体构成”观点

▶ **联网设备**：PC，Server，  
Laptop，Smartphone，etc

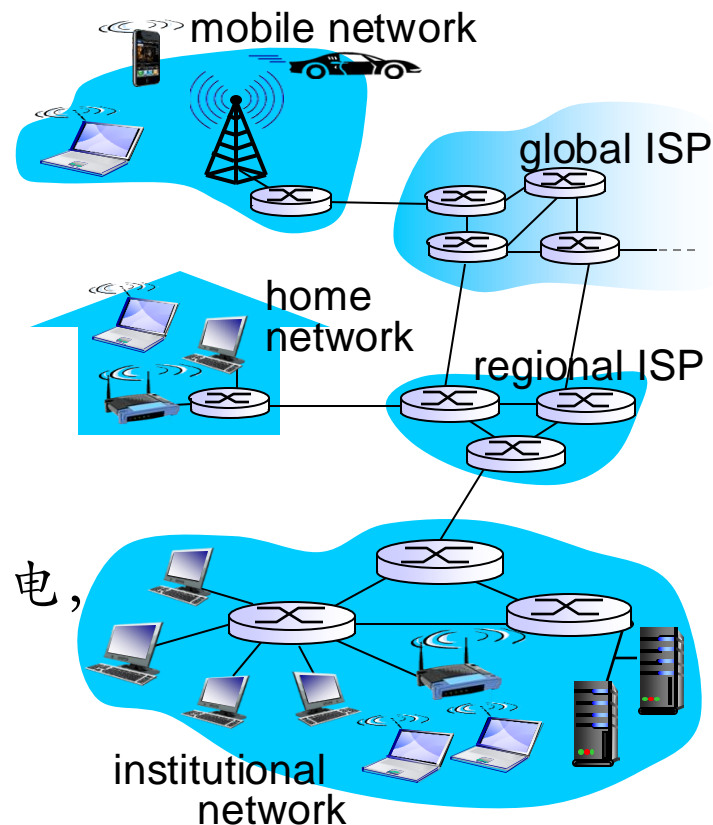
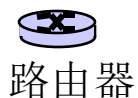
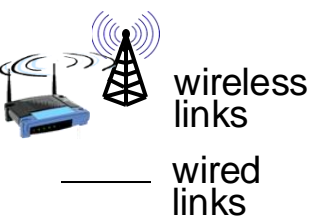
◆ **主机 = 端系统**，运行协议  
和标准

◆ 由 **ISP** 提供联网服务

**通信链路**：光纤，铜缆，无线电，  
卫星，etc

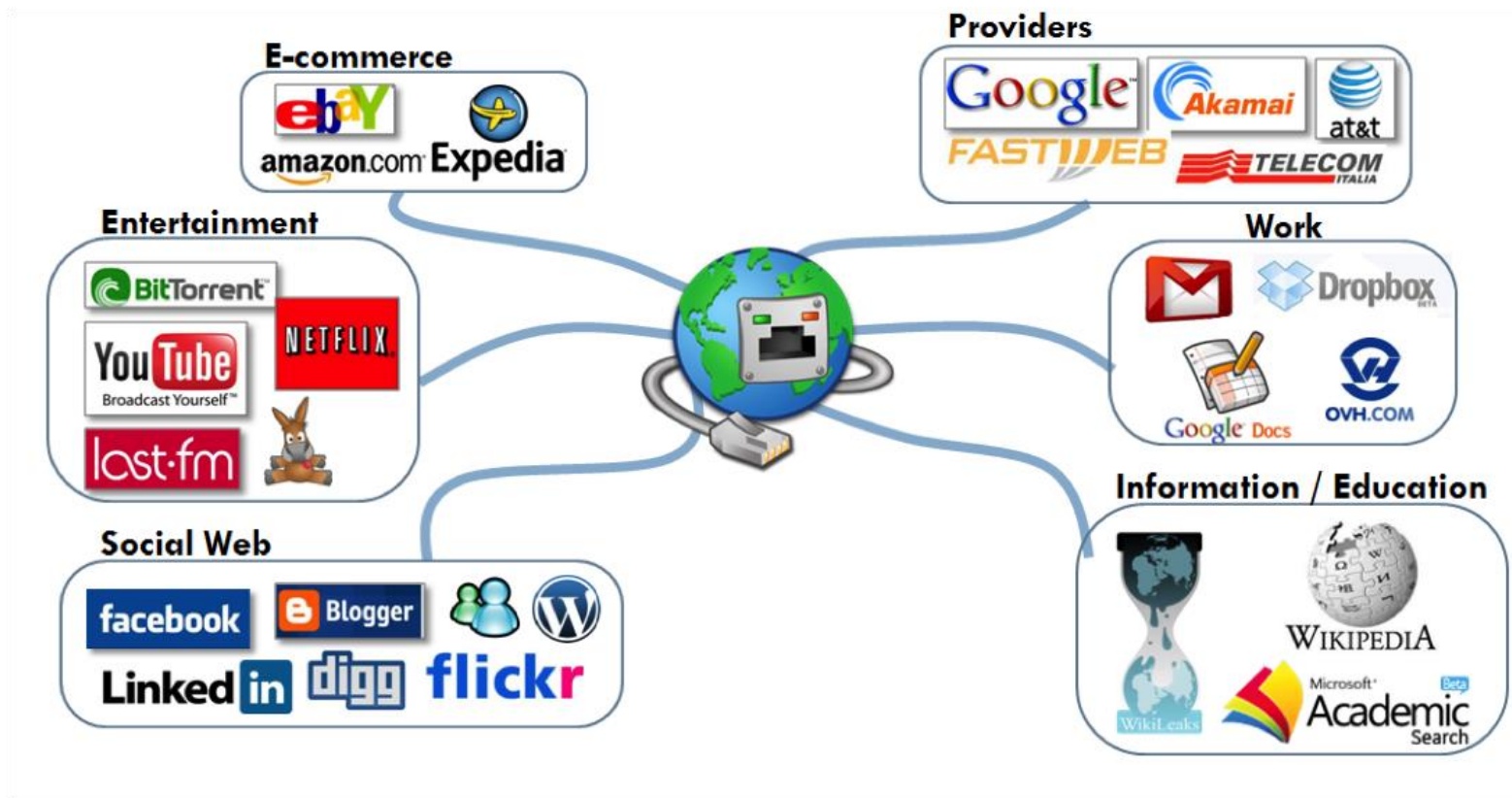
◆ **传输速率**： **带宽**

**分组交换机**：路由器和链路层交换机





# 什么是因特网：“服务描述”观点



Internet: 为应用程序提供服务的基础设施。

# 计算机网络的定义

计算机网络的定义：将分布在不同地理位置上的具有独立工作能力的计算机、终端及其附属设备用通信设备和通信线路连接起来，并配置网络软件，以实现计算机资源共享的系统。

- ◆ 构成要素：计算机，通信线路，软件（协议）

- ◆ 主要用途：资源共享（数据，软件，硬件）



# 什么是因特网

因特网 = “网络的网络”

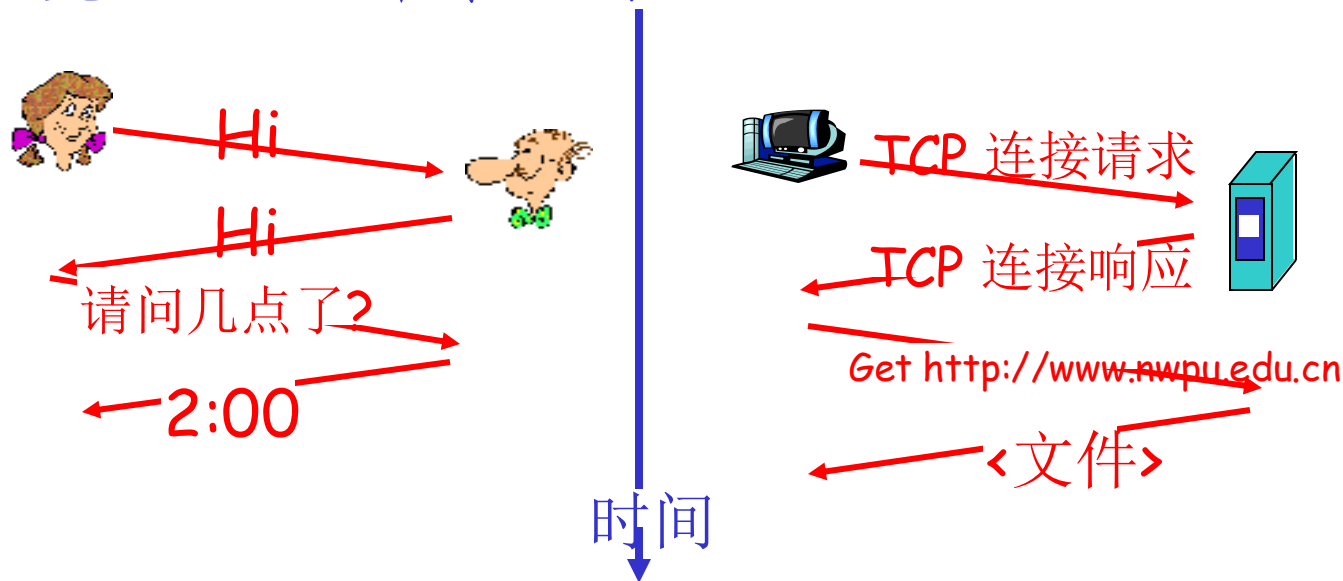
RFC.1122, Requirements for Internet Hosts -- Communication Layers, 1.1.2 Architectural Assumptions, 1989: 是网络与网络之间所串连成的庞大网络, 这些网络以一组标准的**网络协议**族(e.g., TCP/IP)相连, 连接全世界几十亿个设备, 形成逻辑上的单一巨大国际网络。

**网络协议**: 控制报文发送, 接收。

- ⑩ 类型: TCP, IP, HTTP, FTP, P2P, Skype, 802.11 etc.
- ⑩ 制定: RFC, IETF, IEEE, 等

# 什么是协议

人类协议 vs. 计算机网络协议:



**协议**定义了在两个或多个通信实体之间交换的报文**格式**和**次序**，以及在报文传输和接收或其它事件方面所采取的**动作**

➤ 1.1 什么是因特网？

➤ 1.2 网络边缘

➤ 1.3 网络核心

➤ 1.4 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量

➤ 1.5 协议层次和它们的服务模型

➤ 1.6 因特网的历史和安全

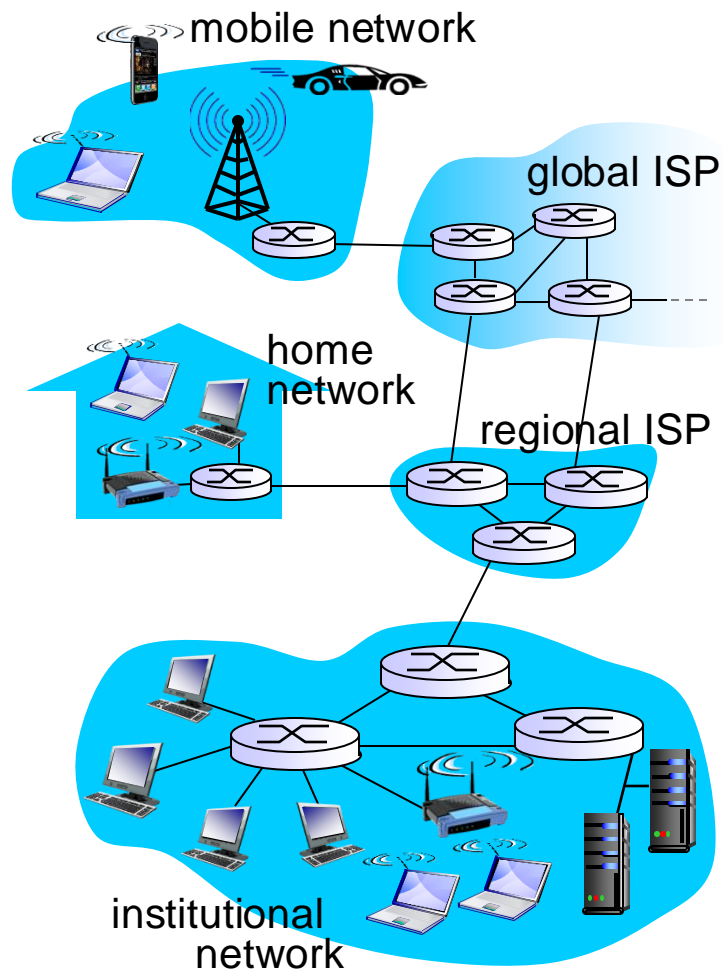
# 网络边缘

## ➤ 网络边缘

- ◆ 端系统和应用程序
- ◆ 接入网，链路

## ➤ 网络核心

- ◆ 电路与分组交换
- ◆ 网络结构



# 网络边缘

## ➤ 端系统 (主机):

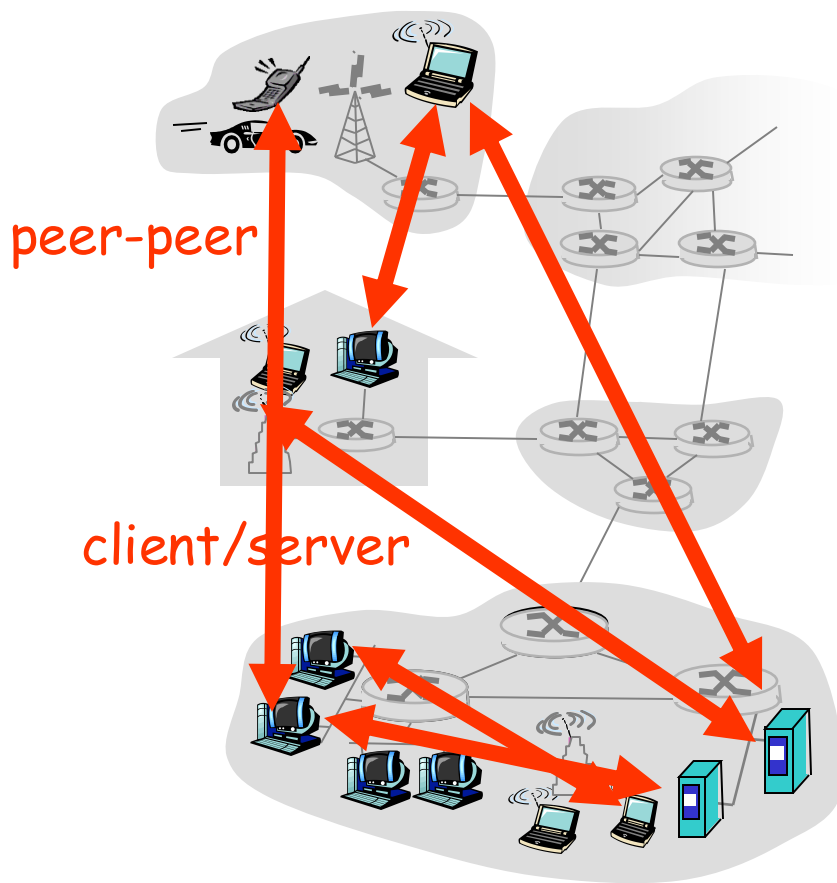
- ◆ 运行应用程序
- ◆ 例如Web, 电子邮件
- ◆ 在“网络边缘”

## ➤ 客户机/服务器模式:

- ◆ 客户机主机请求, 从总是开的服务器接收服务
- ◆ 例如Web浏览器/服务器; 电子邮件客户机/服务器

## ➤ 对等模式(peer-peer model):

- ◆ 最小限度(或不)使用专用服务器
- ◆ 例如BitTorrent, KaZaA, Skype



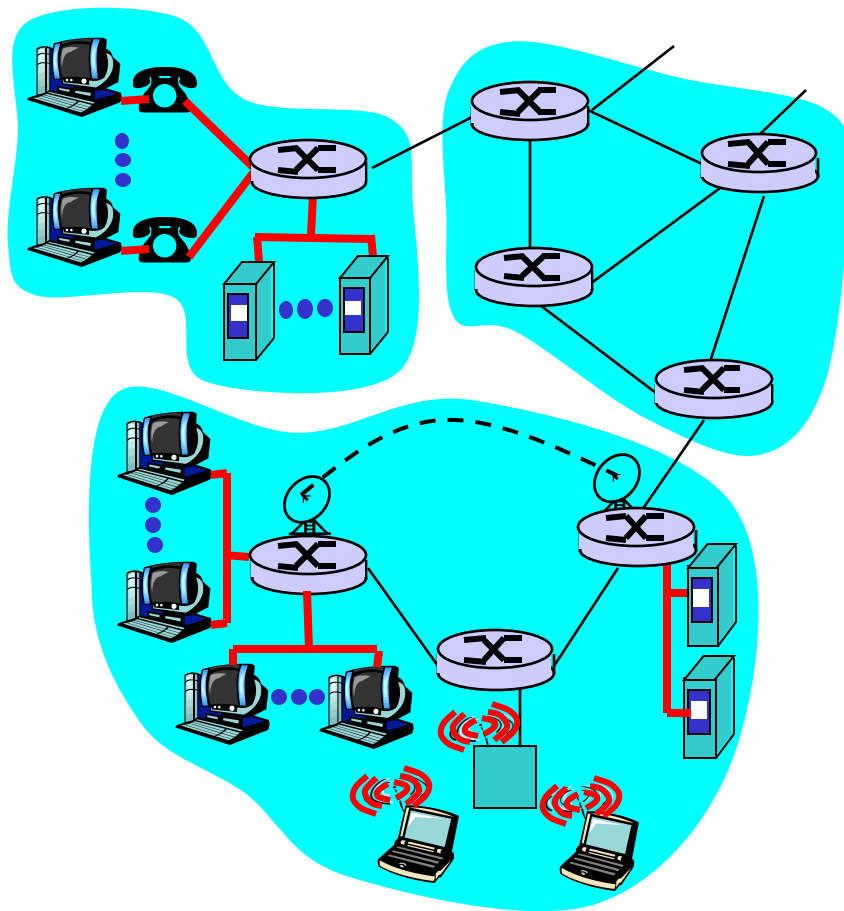
# 接入网

问题: 端系统怎样连接到边缘路由器?

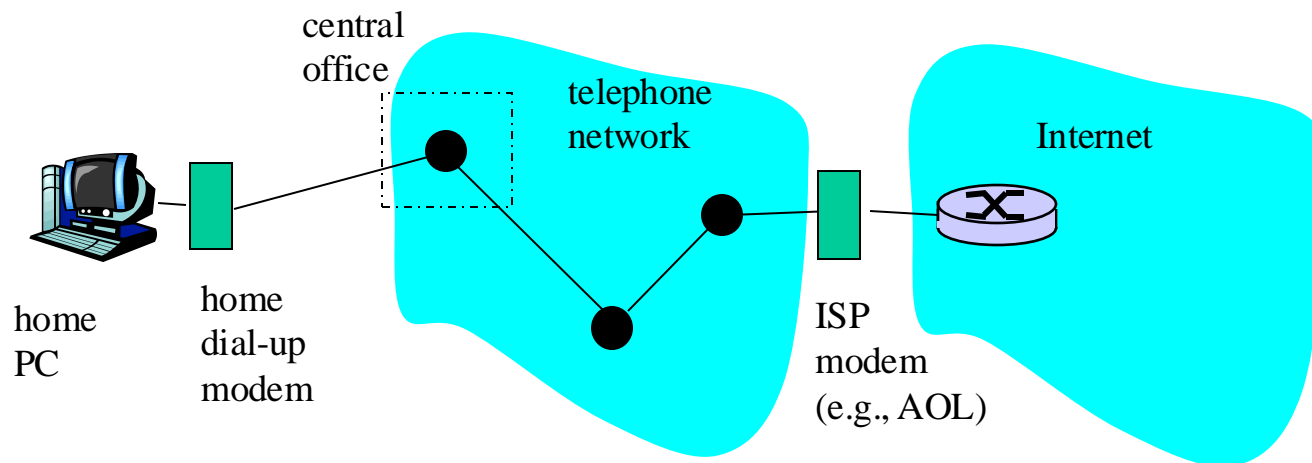
- 住宅接入网络
- 公司接入网络(学校, 公司)
- 移动接入网络

需要注意的是:

- 接入速率: bps
- 共享 vs. 专用



# 接入网: 拨号调制解调器



## 经调制解调器拨号

- ◆ 最高达56Kbps直接接入到路由器(经常较少)
- ◆ 不能同时上网和打电话: 不能“总是在线”

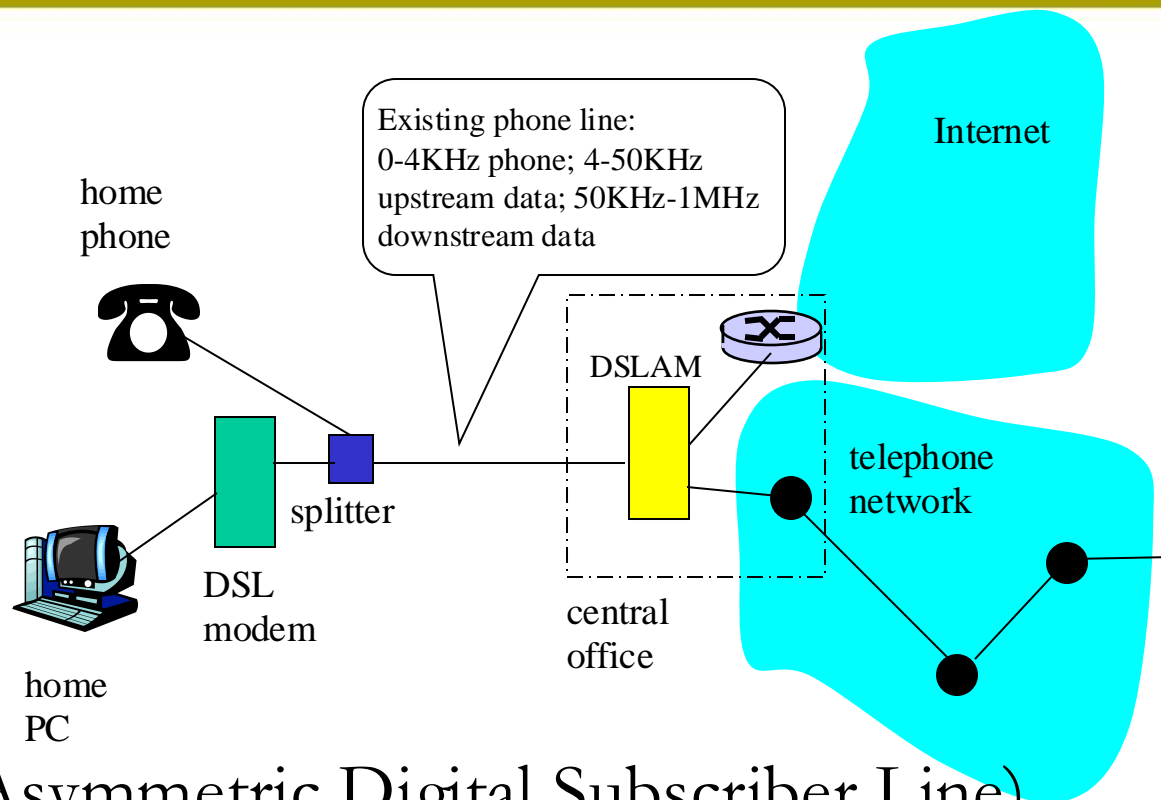
# 接入网：拨号调制解调器

dy202203 bilibili





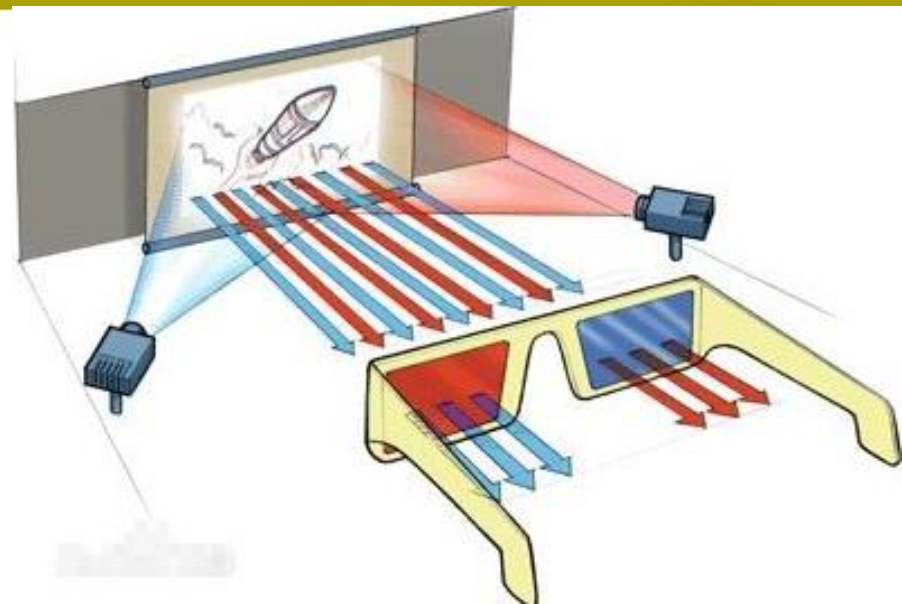
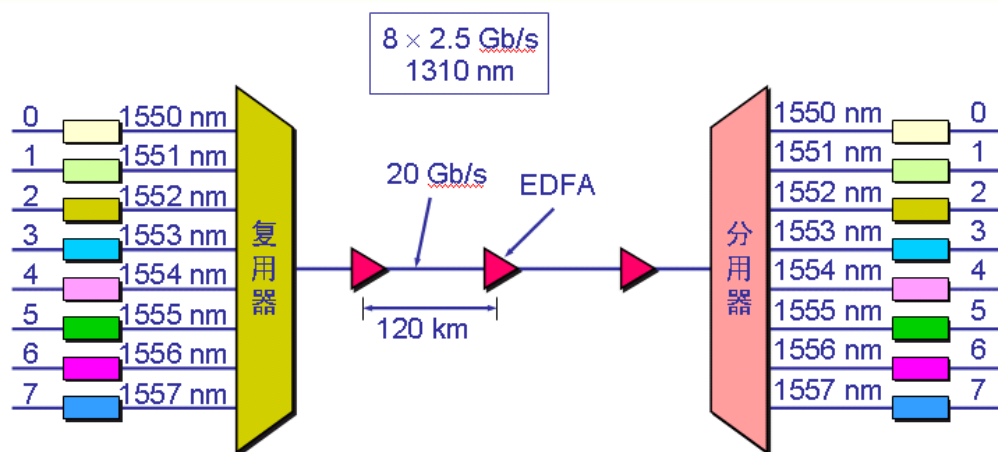
# 接入网:非对称数字用户线路(ADSL)



ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)

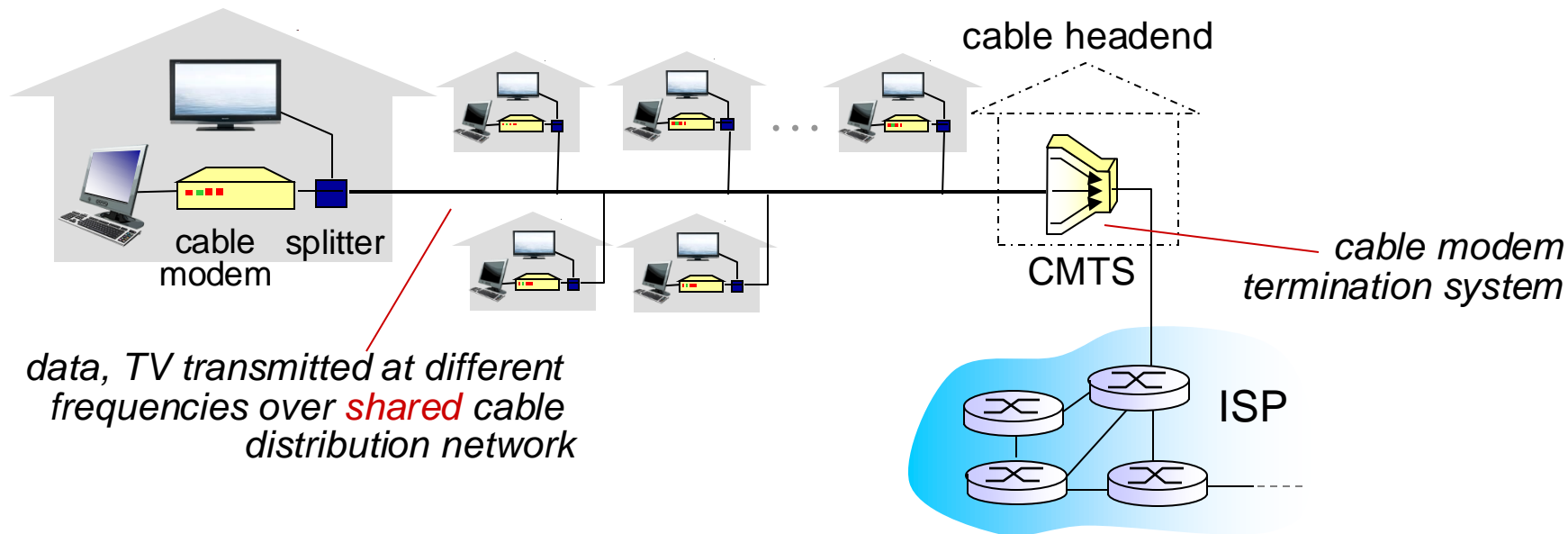
- ◆ 2.5Mbps上行速率, 24Mbps下行速率 (ITU 2003)
- ◆ FDM: 0-4KHz用于普通电话; 4-50KHz用于上行; 50KHz-1MHz用于下行

# 接入网：非对称数字用户线路(ADSL)



频分复用是一种信号传输机制，其中在要传输的信号共享通信信道的可用带宽

# 接入网: 电缆接入



- **定义:** 利用有线电视公司现有的有线电视网络。因为经常采用光纤和同轴电缆, 又称为**HFC (混合光纤同轴)**
- **特点:** 不对称: 最高达42.8Mbps下行, 30.7 Mbps上行 (DOCSIS2.0)

[翻译: 湖科大教书匠 Email: jgao1@hnust.edu.cn]  
大家好, 本视频我们将讨论调制解调器 (俗称“猫”)  
和路由器的区别。

# 接入网：无线接入

## ➤ 无线局域网 (Wireless LAN)

◆ 传输距离：几十米

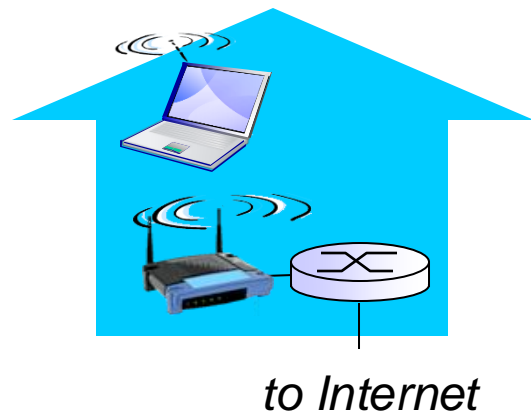
◆ 传输速率：802.11b/g (WiFi) 11~54Mbps

## ➤ 广域网 (Wide-area Wireless Access) :

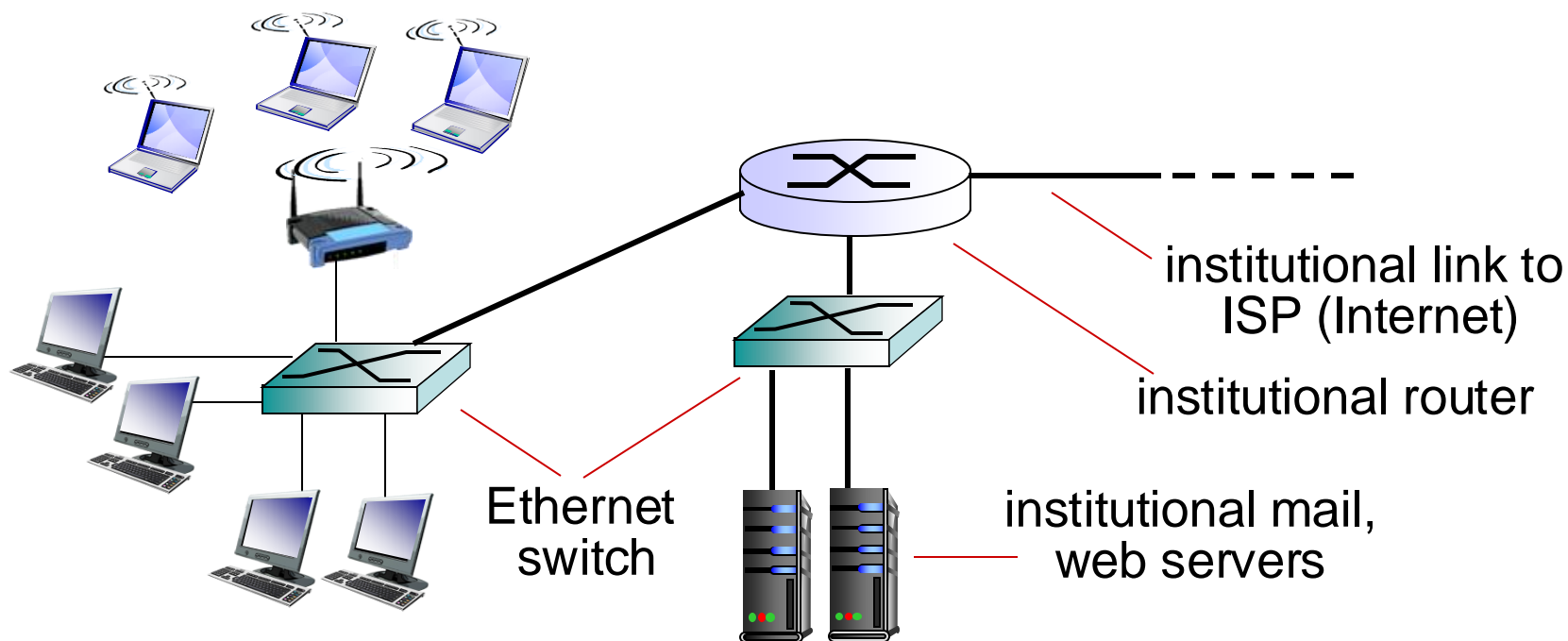
3G, 4G

◆ 覆盖范围：几十公里

◆ 传输速率：1~10Mbps



# 接入网：以太网



主要应用于企业和学校等机构

- ◆ 提供10 Mbps, 100Mbps, 1Gbps, 10Gbps 的数据传输速率
- ◆ 端系统通过以太网交换机接入网络

# 接入网：物理媒体

## 同轴电缆

- 两根同中心的铜导体
- 双向传输，可以容纳多个信道

## 双绞线 (TP)

- 两根绝缘铜线：3类线，5类线
- 屏蔽或非屏蔽双绞线：STP-屏蔽双绞线；UTP-非屏蔽双绞线

**分类与指标：** 导引型媒体 vs 非导引型媒体； 带宽 & 误码率： 速度和可靠性

## 光纤电缆

- ⑩ 承载光脉冲的玻璃纤维，每个脉冲一个比特
- ⑩ 速度高低误码率

## 无线电：

- 陆地微波，LAN (如 WiFi)，广域 (如 蜂窝)，卫星
- 易受干扰

- 1.1 什么是因特网?
- 1.2 网络边缘
- **1.3 网络核心**
- 1.4 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量
- 1.5 协议层次和它们的服务模型
- 1.6 因特网的历史和安全



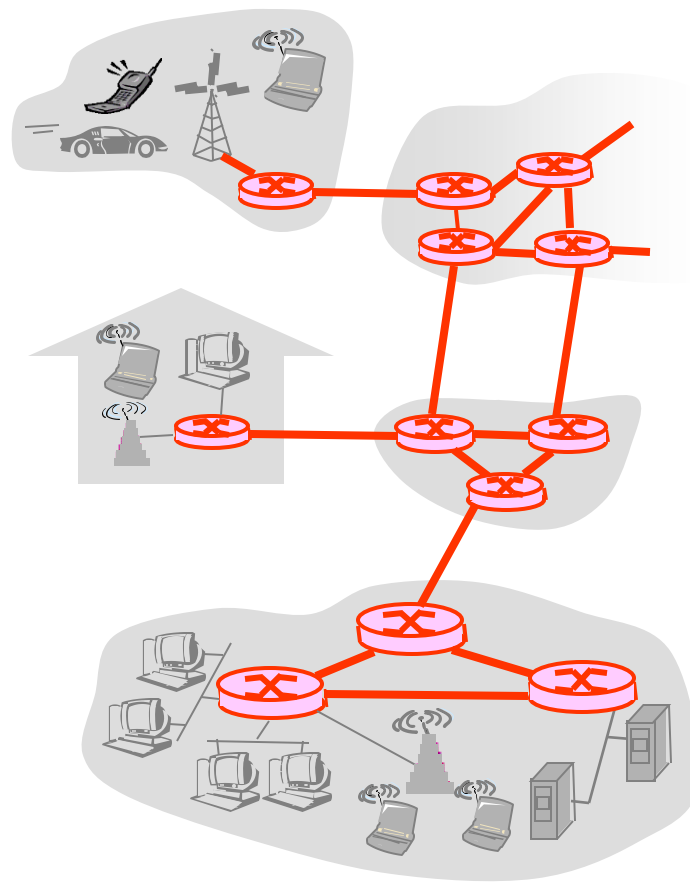
# 网络核心

**网络核心：**由互联因特网端系统的分组交换机和链路构成的网状网络。

**主要作用：**建立传输的通道

◆ **电路交换：**专用线路

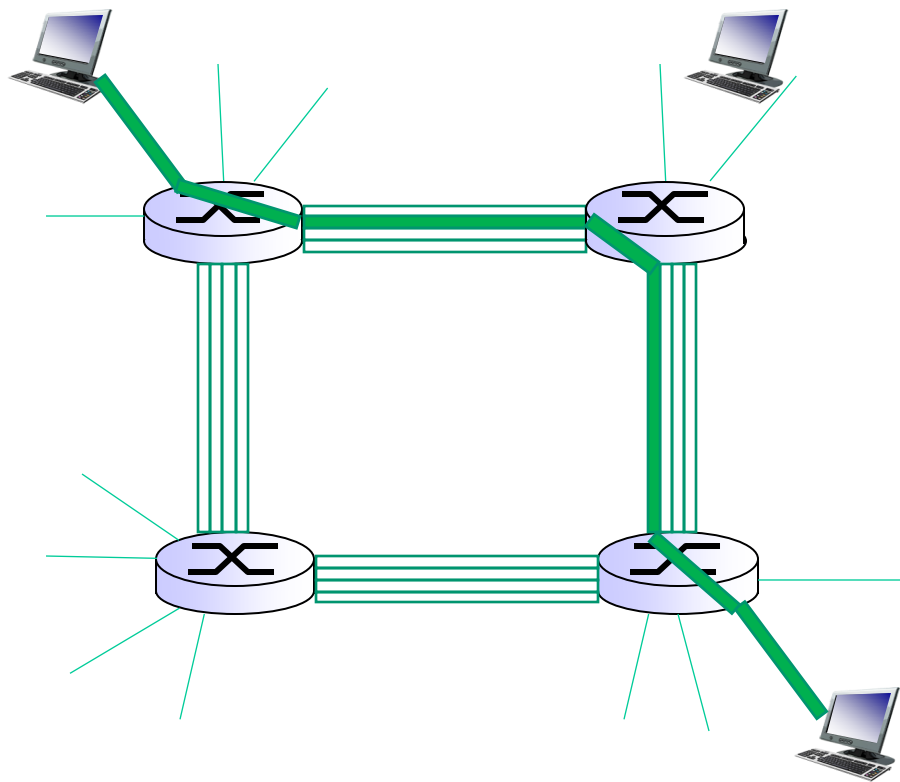
◆ **分组交换：**非专用线路



# 网络核心：电路交换

## 电路交换特征

- 面向连接：建立连接→通信→释放连接
- 资源独占：非共享 性能有保障
- 多链路支持：正交复用 FDM, TDM, CDM
- 链路有可能闲置



**固网电话方法：电路交换**

# 网络核心：电路交换

一个例子：从主机A到主机B经一个电路交换网络发送一个640,000 比特的文件需要多长时间？

- ◆ 所有链路是1.536 Mbps
- ◆ 每条链路使用具有24个时隙的TDM
- ◆ 创建端到端电路需500 msec

计算结果：

$$\text{Time} = 640000 / (1.536 \text{ Mbps} / 24) + 0.5 \text{ s} = 10.5 \text{ s}$$

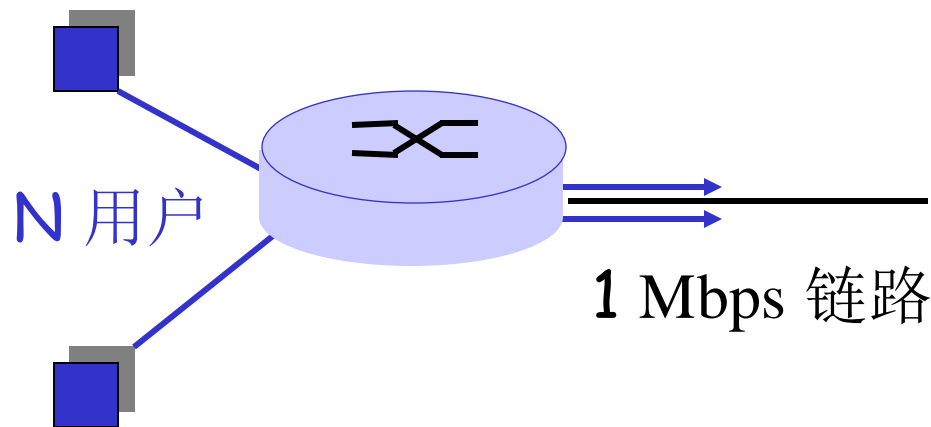
问题

电路交换适合传送计算机数据吗？

# 网络核心：分组交换

**例子：**1 Mbps链路，每个用户仅在10%的时间活跃且此时的数据速率为100 kbps 电路交换：

- ◆ **电路交换：**  $\leq 10$  用户
- ◆ **分组交换：** 总计有有35个用户，11个以上活跃用户冲突概率  $\approx 0.0004$



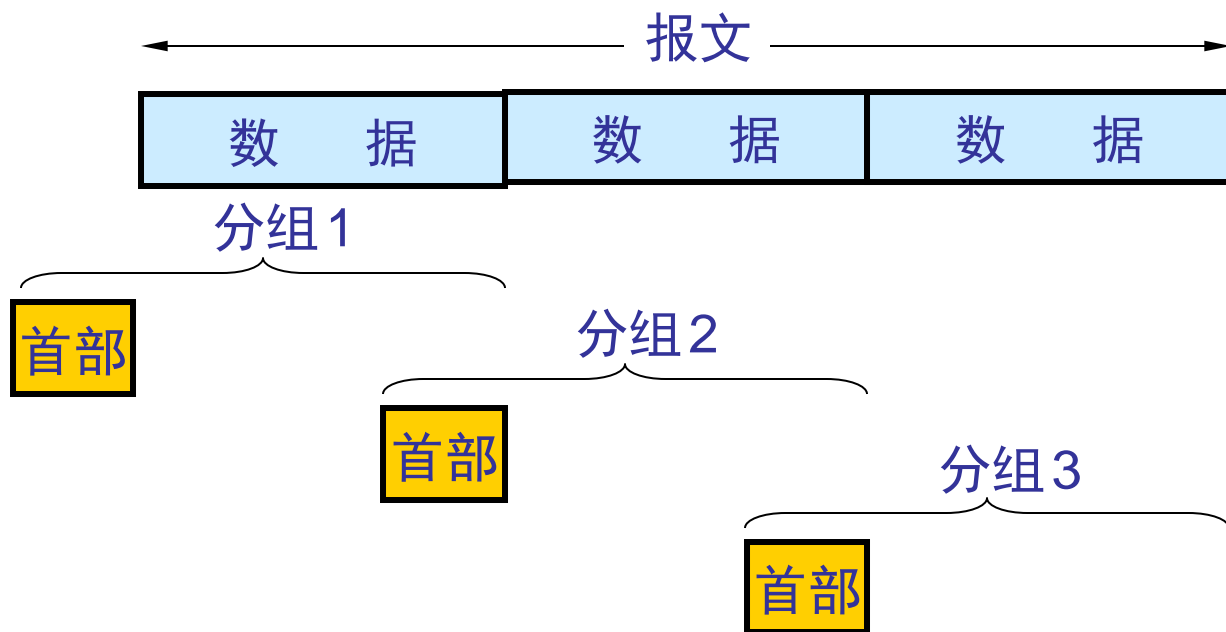
**复用（资源共享）**

- ◆ 比传统时分复用 **提高效率** 2-4倍
- ◆ 带来竞争（拥塞），产生时延

$$P = C_{35}^n 0.1^n \cdot (1 - 0.1)^{35-n}$$

# 网络核心：分组交换

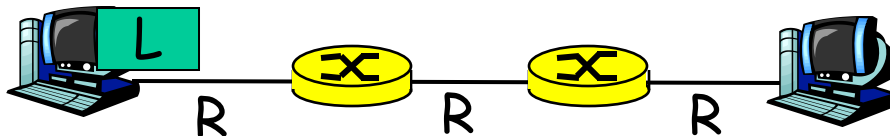
发送端把较长的报文划分为**分组**，加上**首部**后依次传送出去



接收端收到分组后剥去首部还原成报文

# 网络核心：分组交换

**存储转发：**路由器收到一个L长分组，先暂时存储下来，再检查其首部，查找转发表。



- ▶ 传输(推出)L个比特到速率为R bps链路上，需要 $L/R$ 秒
- ▶ N条串行级联链路：时延 =  $NL/R$  (假设传播延迟为 0)

**思考题**

**P个分组经过N条链路序列的时延**

# 网络核心：分组交换与电路交换对比

- **连接**：分组交换不需建立连接，更简单；电路交换需要建立连接，通信，释放连接
- **效率**：分组交换采用**统计时分复用**共享带宽资源(高)；电路交换通信期间独占资源(低)
- **灵活**：分组交换采用存储转发，可动态选择路径；电路交换采用电路连接，路径保持不变
- **时延**：分组交换由于存在竞争和拥塞，时延性能不能保证；电路交换时延可以保证

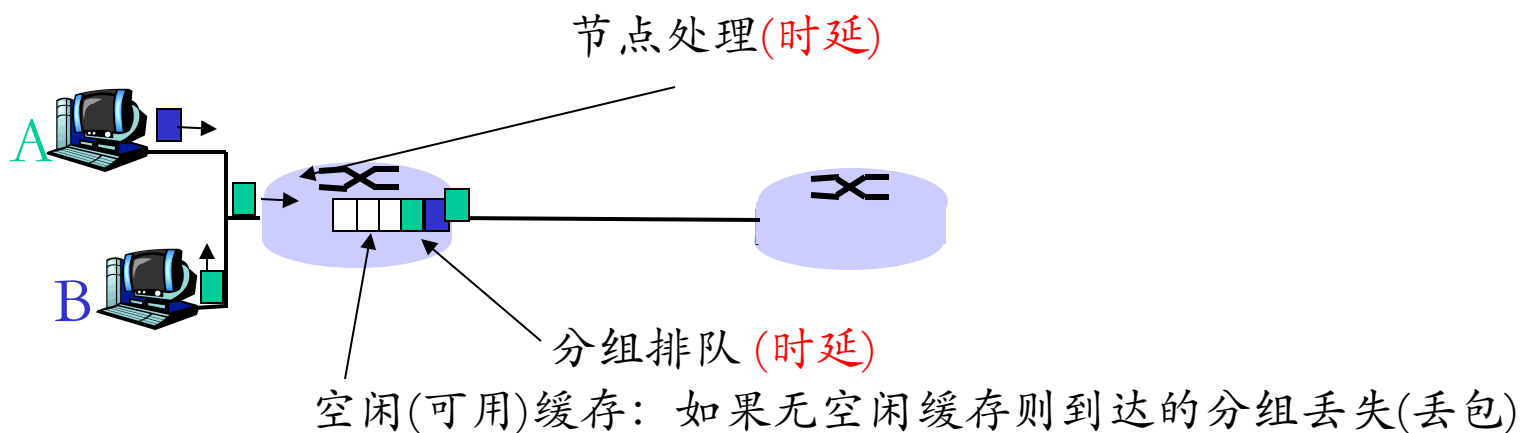
- 1.1 什么是因特网?
- 1.2 网络边缘
- 1.3 网络核心
- 1.4 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量
- 1.5 协议层次和它们的服务模型
- 1.6 因特网的历史和安全



# 丢包和时延是怎样出现的？

## 分组在路由器缓存中排队

- 分组到达链路的速率超过输出链路能力
- 分组排队，等待交换，出现时延；排队过长，出现丢包



- 1. 节点处理时延：检查比特差错；决定输出链路
- 2. 排队时延：等待输出链路传输的时间取决于路由器拥塞的等级

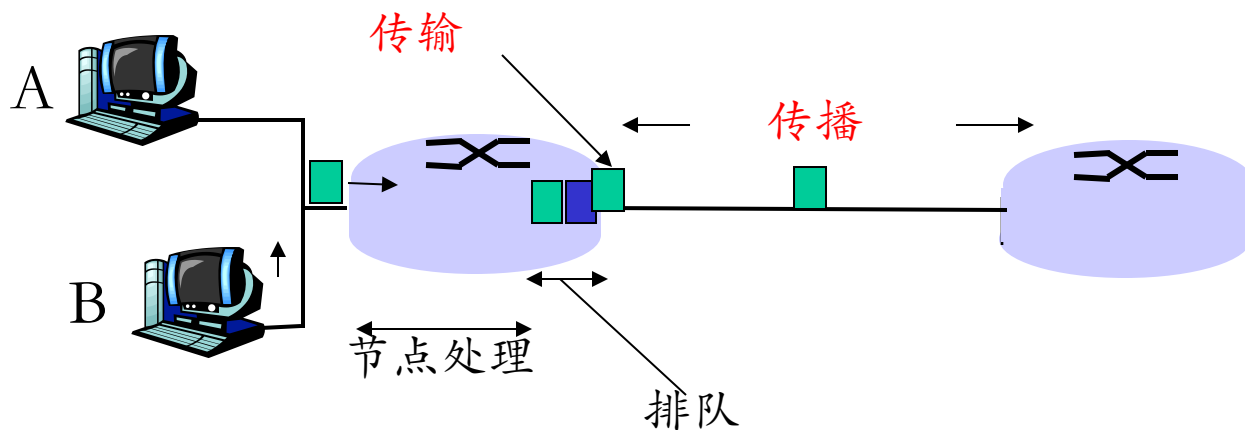
# 分组时延的4种来源

## ➤ 3. 传输时延

- ◆  $R$  = 链路带宽 (bps)
- ◆  $L$  = 分组长度 (比特)
- ◆ 发送比特进入链路的时间 =  $L/R$

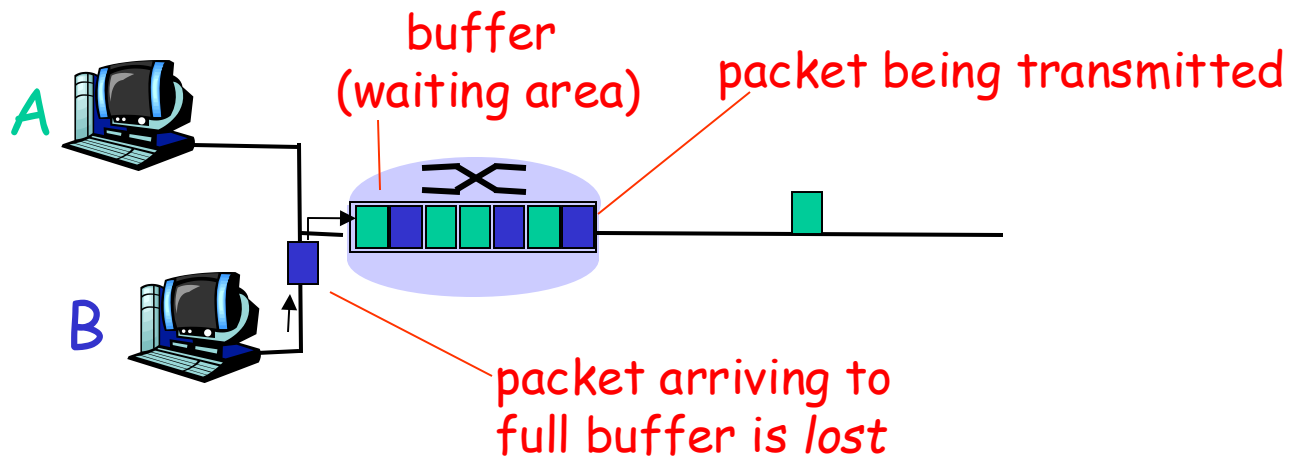
## ➤ 4. 传播时延

- ◆  $d$  = 物理链路的长度
- ◆  $s$  = 在媒体中传播的速度 (约  $3 \times 10^8 \text{m/sec}$ )
- ◆ 传播时延 =  $d/s$



# 分组丢失

- 缓存区满，分组被丢弃（丢包率）
- 丢失后处理：重传或放弃



# 节点总时延

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

➤  $d_{\text{proc}}$  = 处理时延

◆ 通常几个微秒或更少

➤  $d_{\text{queue}}$  = 排队时延

◆ 与流量强度有关:  $L\alpha/R$

➤  $d_{\text{trans}}$  = 传输时延

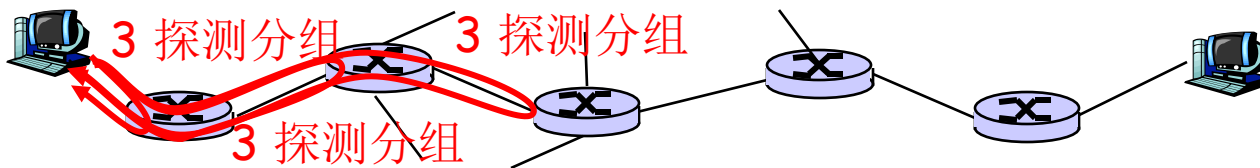
◆  $= L/R$ , 对低速链路很大

➤  $d_{\text{prop}}$  = 传播时延

◆ 几微秒到几百毫秒

# “实际的” 因特网时延和路由

- Traceroute原理: 发送探测分组, 到达路由器后, 返回响应, 测量时间, 重复三次



- 使用Traceroute (Window下为Tracert) 程序验证

```
tracert to www.baidu.com (61.135.169.125), 30 hops max, 40 byte packets
 1  192.168.74.2 (192.168.74.2)  2.606 ms  2.771 ms  2.950 ms
 2  211.151.56.57 (211.151.56.57)  0.596 ms  0.598 ms  0.591 ms
 3  211.151.227.206 (211.151.227.206)  0.546 ms  0.544 ms  0.538 ms
 4  210.77.139.145 (210.77.139.145)  0.710 ms  0.748 ms  0.801 ms
 5  202.106.42.101 (202.106.42.101)  6.759 ms  6.945 ms  7.107 ms
 6  61.148.154.97 (61.148.154.97)  718.908 ms * bt-228-025.bta.net.cn (202.106.228.25)  5.177 ms
 7  124.65.58.213 (124.65.58.213)  4.343 ms  4.336 ms  4.367 ms
 8  202.106.35.190 (202.106.35.190)  1.795 ms 61.148.156.138 (61.148.156.138)  1.899 ms  1.951 ms
 9  * * *
30  * * *
```

# “实际的” 因特网时延和路由

➤ 设置跳数: `tracert -m 10 www.baidu.com`

```
1 192.168.74.2 (192.168.74.2) 1.534 ms 1.775 ms 1.961 ms
2 211.151.56.1 (211.151.56.1) 0.508 ms 0.514 ms 0.507 ms
3 211.151.227.206 (211.151.227.206) 0.571 ms 0.558 ms 0.550 ms
4 210.77.139.145 (210.77.139.145) 0.708 ms 0.729 ms 0.785 ms
5 202.106.42.101 (202.106.42.101) 7.978 ms 8.155 ms 8.311 ms
6 bt-228-037.bta.net.cn (202.106.228.37) 772.460 ms bt-228-025.bta.net.cn (202.106.228.25) 2.152 ms 61.148.154.97 (61.148.154.97) 772.107 ms
7 124.65.58.221 (124.65.58.221) 4.875 ms 61.148.146.29 (61.148.146.29) 2.124 ms 124.65.58.221 (124.65.58.221) 4.854 ms
8 123.126.6.198 (123.126.6.198) 2.944 ms 61.148.156.6 (61.148.156.6) 3.505 ms 123.126.6.198 (123.126.6.198) 2.885 ms
9 * * *
10 * * *
```

➤ 设置包数: `tracert -q 4 www.baidu.com`

```
tracert to www.baidu.com (61.135.169.125), 30 hops max, 40 byte packets
1 211.151.74.2 (211.151.74.2) 40.633 ms 40.819 ms 41.004 ms 41.188 ms
2 211.151.56.57 (211.151.56.57) 0.637 ms 0.633 ms 0.627 ms 0.619 ms
3 211.151.227.206 (211.151.227.206) 0.505 ms 0.580 ms 0.571 ms 0.569 ms
4 210.77.139.145 (210.77.139.145) 0.753 ms 0.800 ms 0.853 ms 0.904 ms
5 202.106.42.101 (202.106.42.101) 7.449 ms 7.543 ms 7.738 ms 7.893 ms
6 61.148.154.97 (61.148.154.97) 316.817 ms bt-228-025.bta.net.cn (202.106.228.25) 3.695 ms 3.672 ms *
7 124.65.58.213 (124.65.58.213) 3.056 ms 2.993 ms 2.960 ms 61.148.146.29 (61.148.146.29) 2.837 ms
8 61.148.3.34 (61.148.3.34) 2.179 ms 2.295 ms 2.442 ms 202.106.35.190 (202.106.35.190) 7.136 ms
9 * * * *
30 * * * *
```

# “实际的” 因特网时延和路由

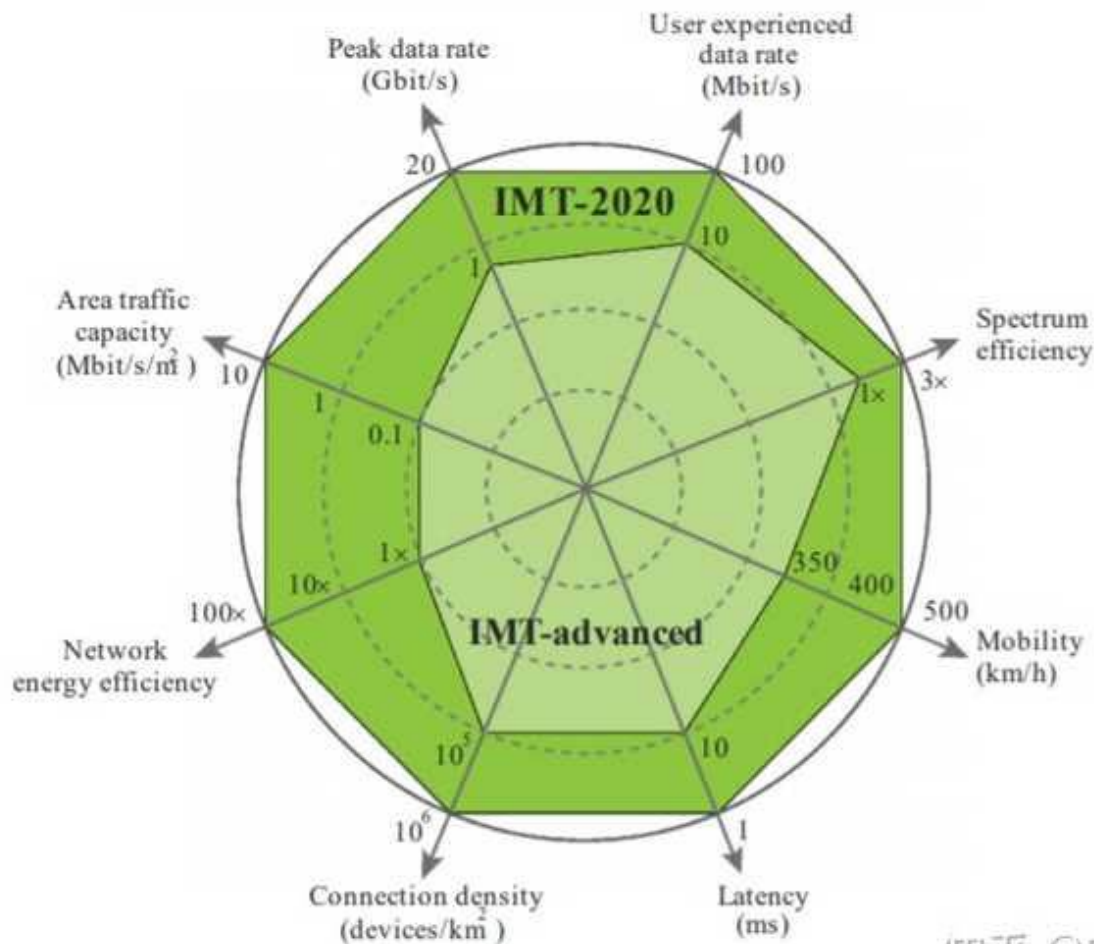
➤ 设置直达: `tracert -r www.baidu.com`

```
tracert to www.baidu.com (61.135.169.125), 30 hops max, 40 byte packets  
connect: 网络不可达
```

# 节点总时延：时延是5G的核心议题

FIGURE 3

Enhancement of key capabilities from IMT-Advanced to IMT-2020



5G  
：低时延高可靠传输

知乎 @D.Han

M.2083-03

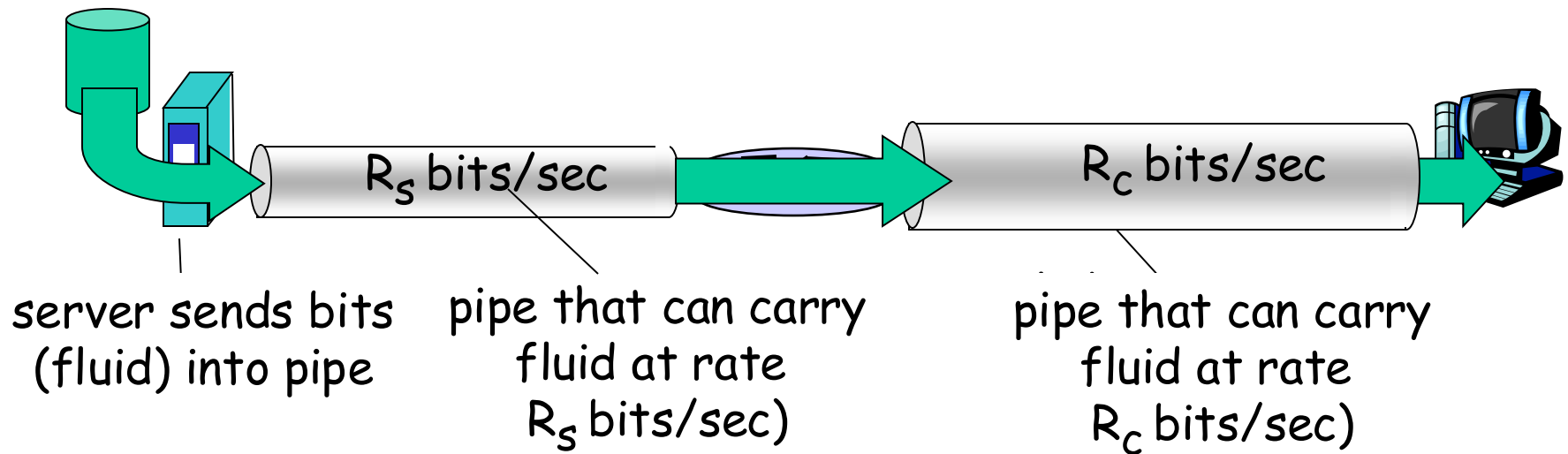


# 吞吐量

端到端吞吐量:单位时间内成功地传送数据的数量

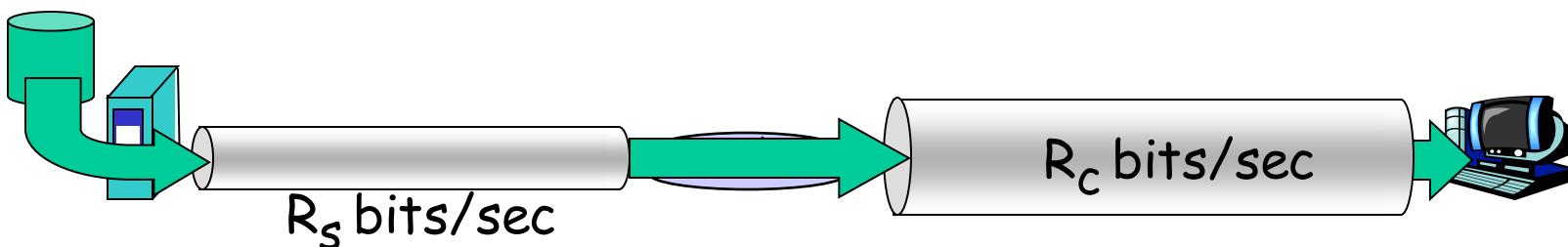
◆和带宽的区别, 单位相同, 但链路带宽是链路的能力, 为设计值; 吞吐量是实际测试的传输速率

◆瞬时吞吐量, 平均吞吐量

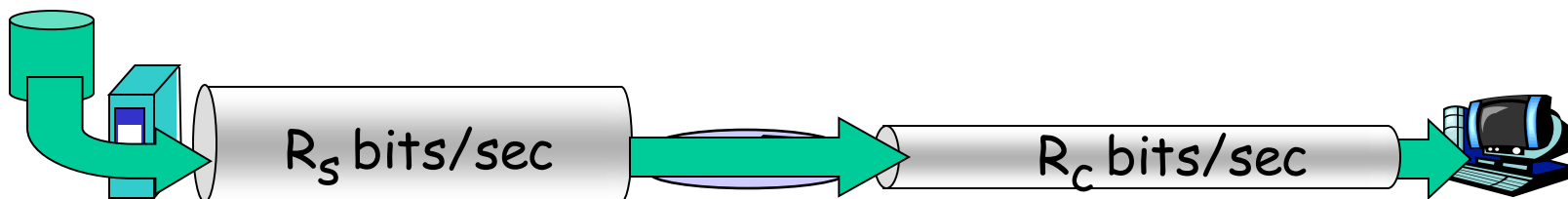


# 吞吐量

➤ 当  $R_s < R_c$  时，平均端到端吞吐量为？



➤ 当  $R_s > R_c$  时，平均端到端吞吐量为？



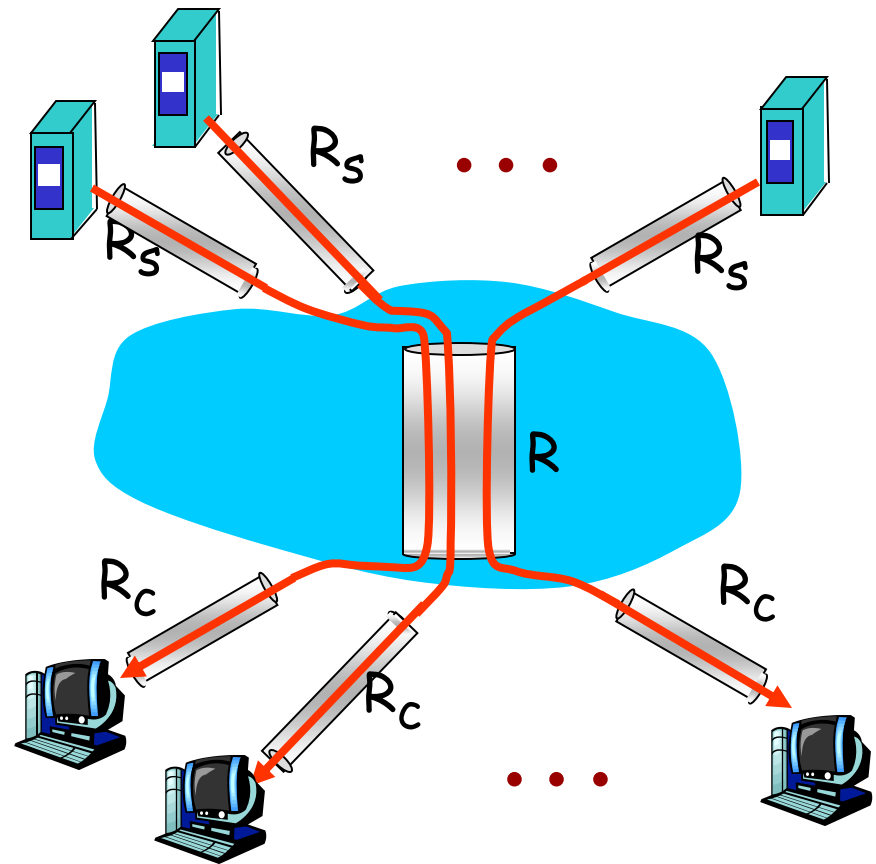
瓶颈链路

端到端链路制约了端到端的吞吐量

# 吞吐量：因特网实际情况

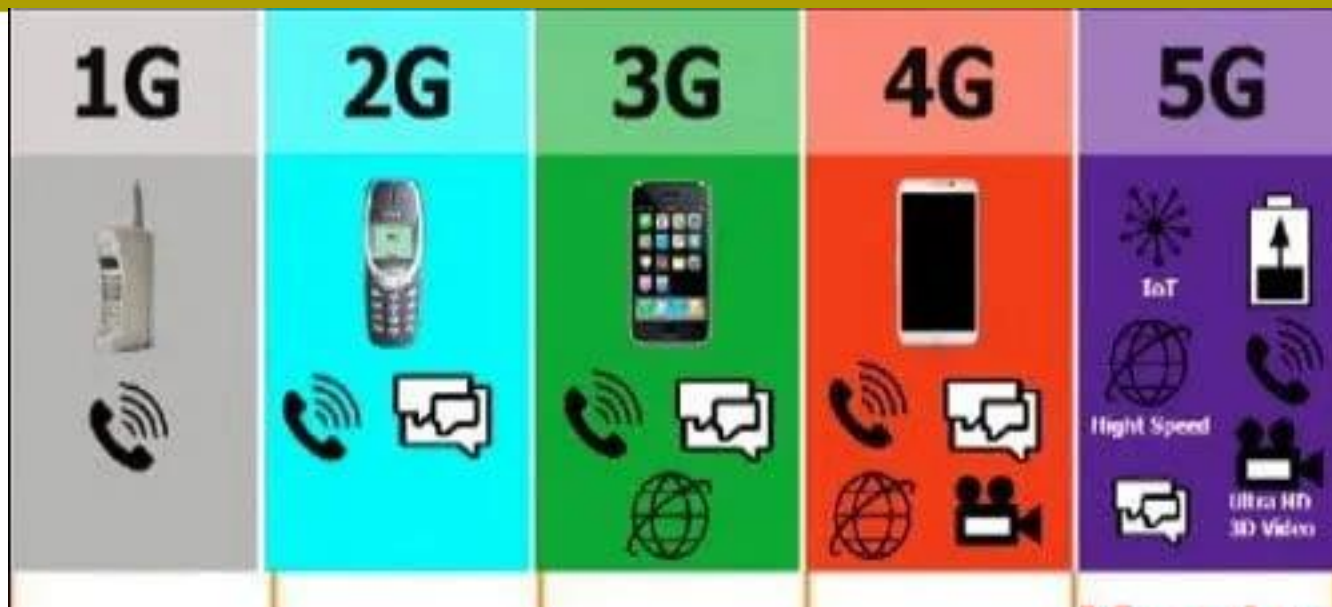
问题

- 每个连接的端到端吞吐量:  $\min(R_c, R_s, R/10)$
- 实际上:  $R_c$  和  $R_s$  通常是瓶颈



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

# 吞吐量: 如何提升?



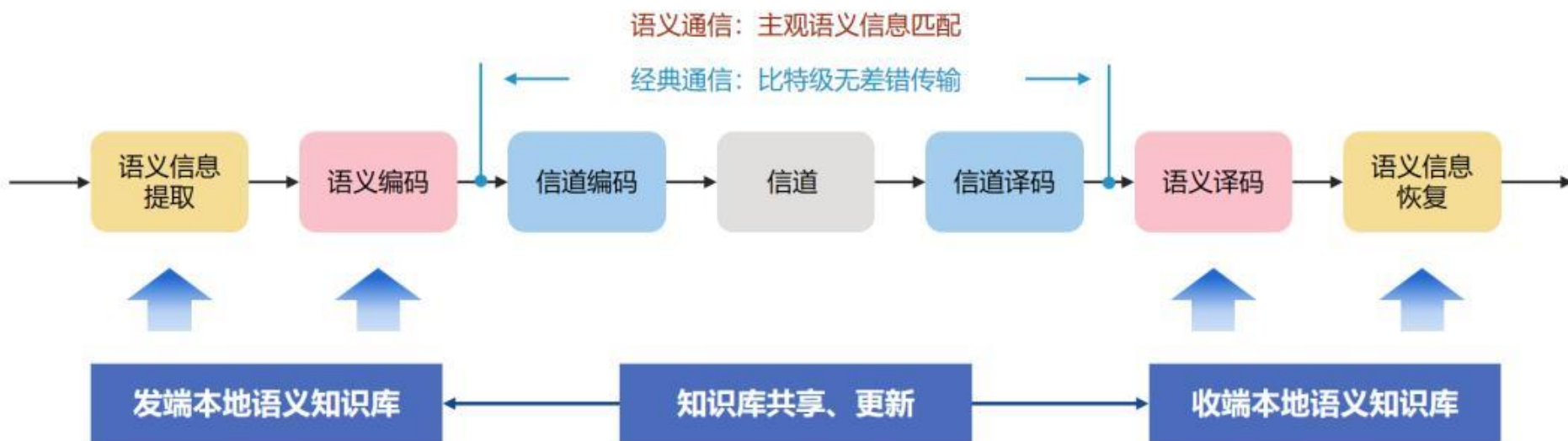
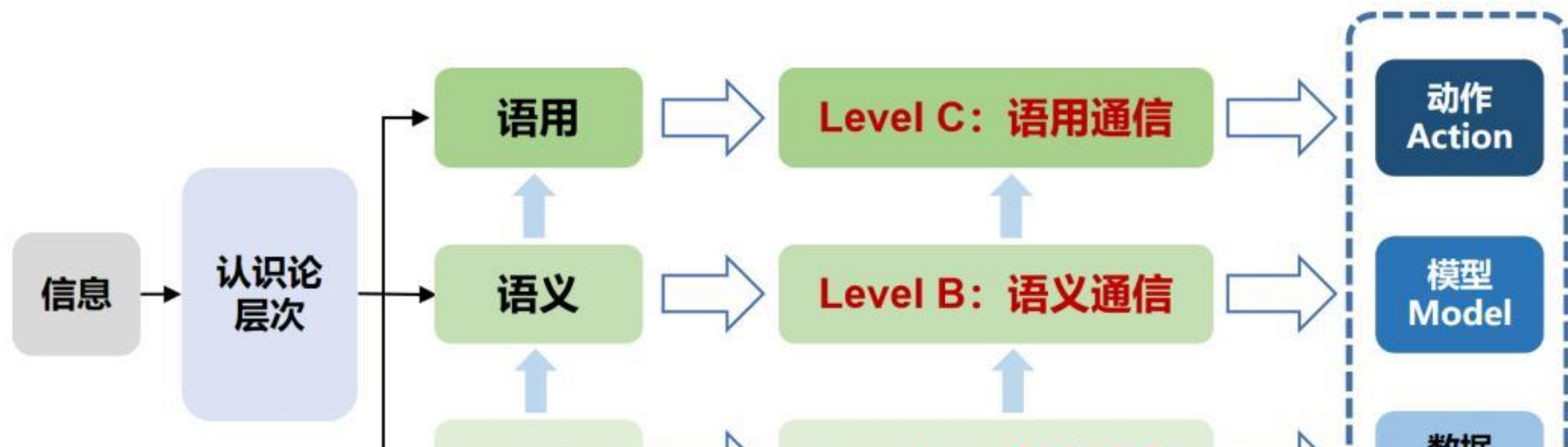
新观点 | 国外研究表明，道路拓宽会加剧拥堵！



导语

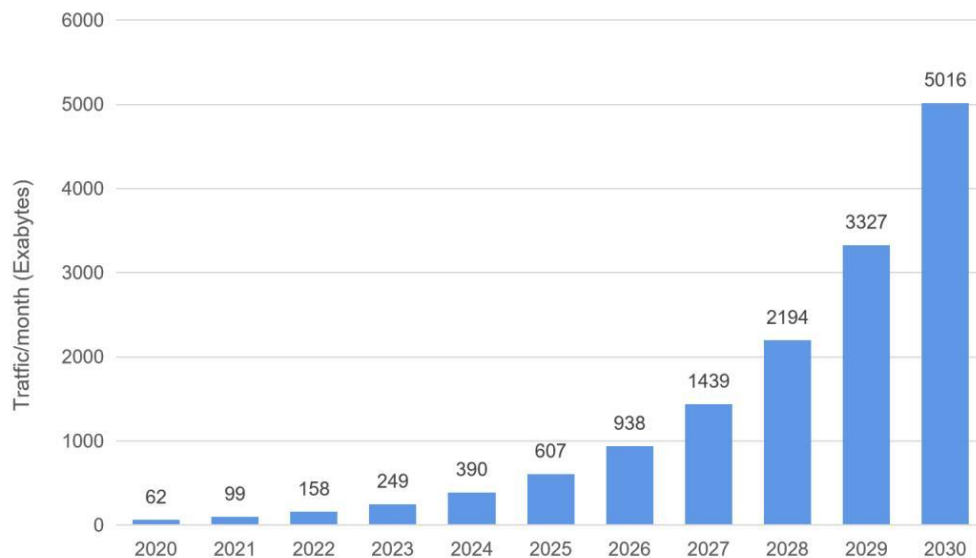
一直以来，大家都抱怨道路太窄引发了拥堵，期待道路加宽后交通能更加畅通。但现实中汽车总是会找道路为不能缓解交通拥堵。

# 吞吐量：如何提升？



# 互联的架构: 网络的网络

- 端系统通过**接入ISPs** (Access Internet Service Providers)接入因特网: 家用和机构ISP
- 接入ISPs必须互联: 以保证互联网中任意两个主机能够互联;
- 大规模连接使得整个网络及其复杂;



每月数据流量 (单位: EB)

1Byte = 8 Bit

1 KB = 1,024 Byte

1 MB = 1,024 KB

1 GB = 1,024 MB

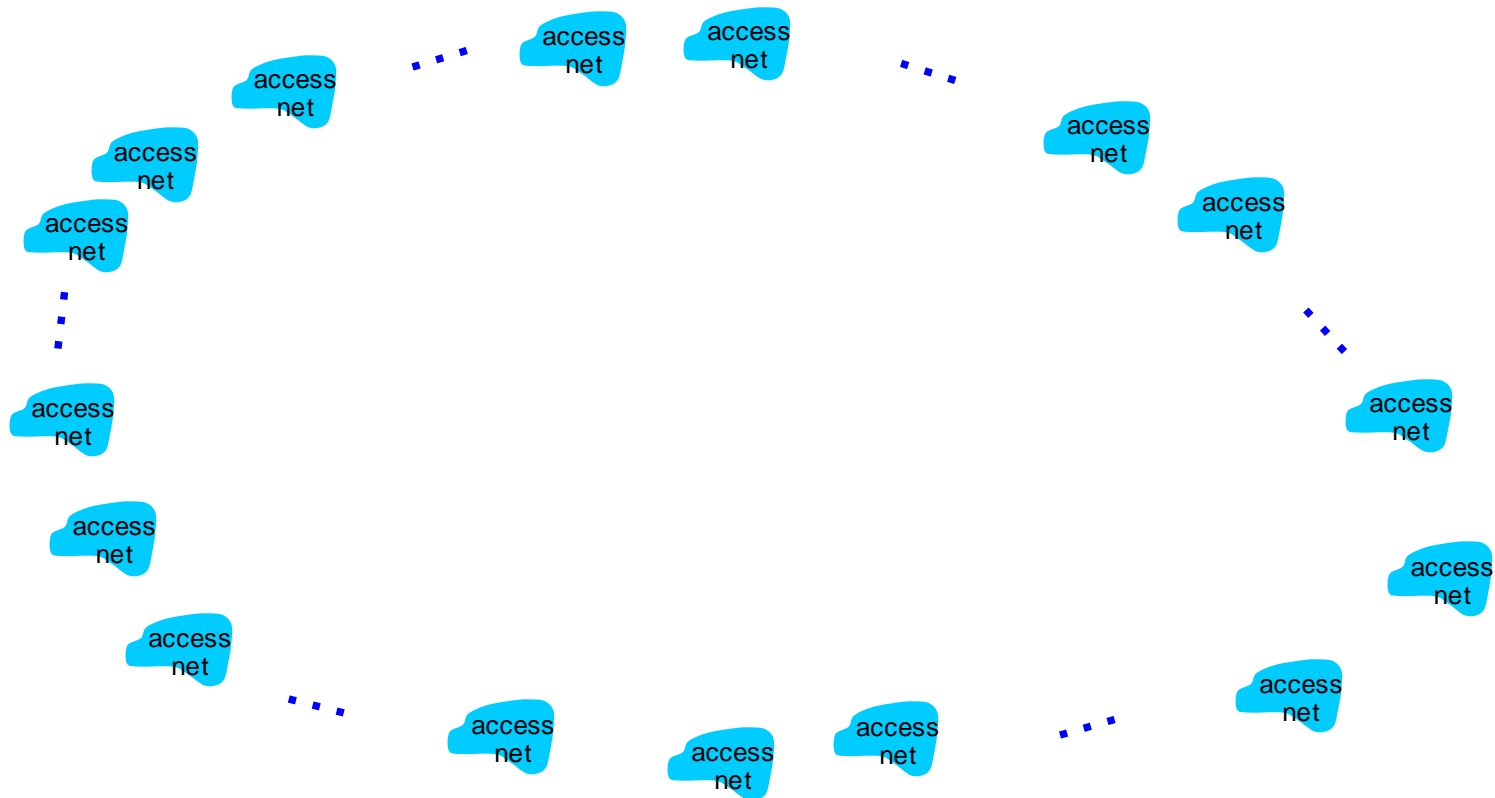
1 TB = 1,024 GB

1 PB = 1,024 TB

1 EB = 1,024 PB

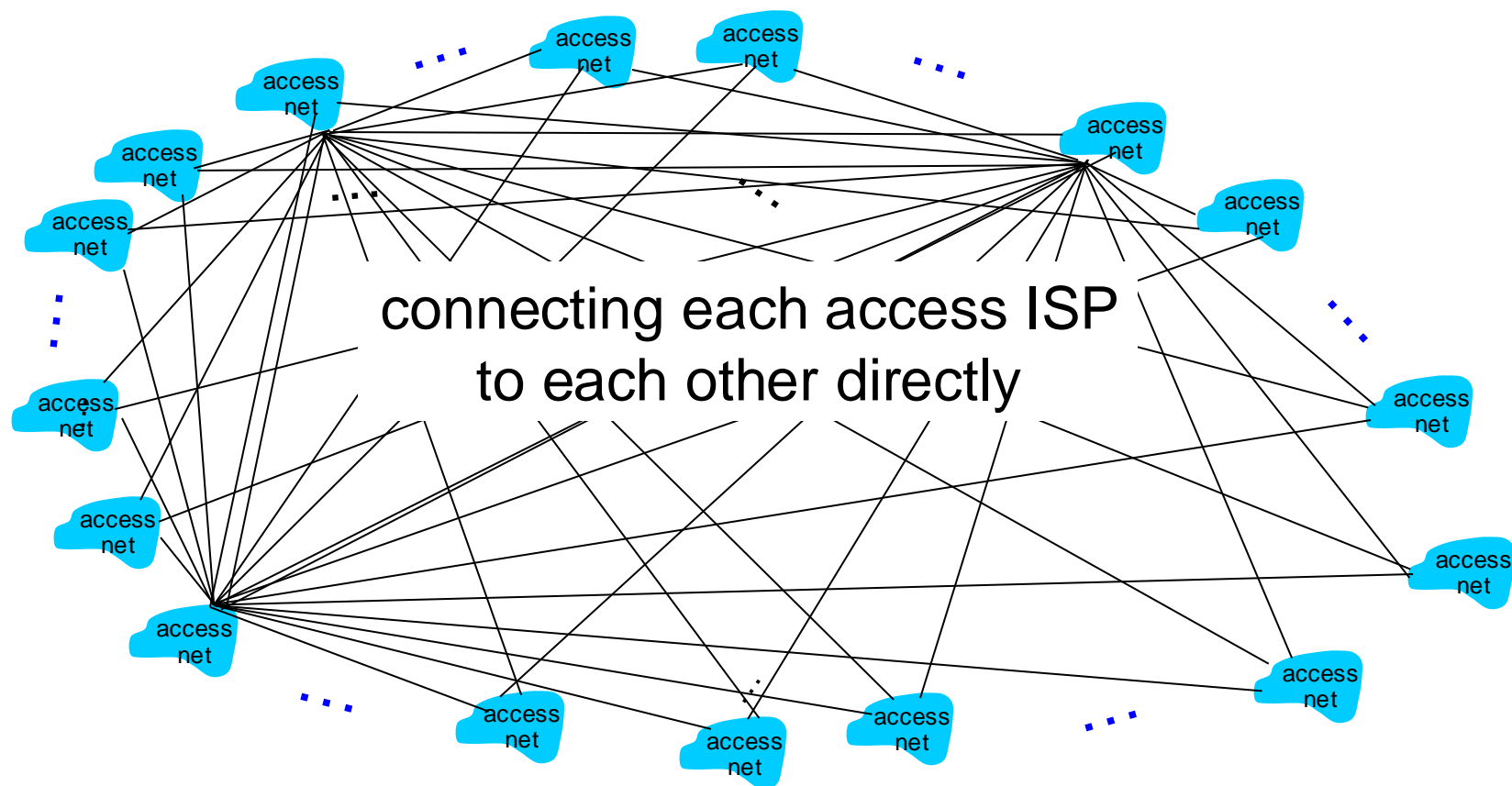
# 互联的架构：网络的网络

问题：如何将数以百万计的接入ISP互联？



# 互联的架构: 网络的网络

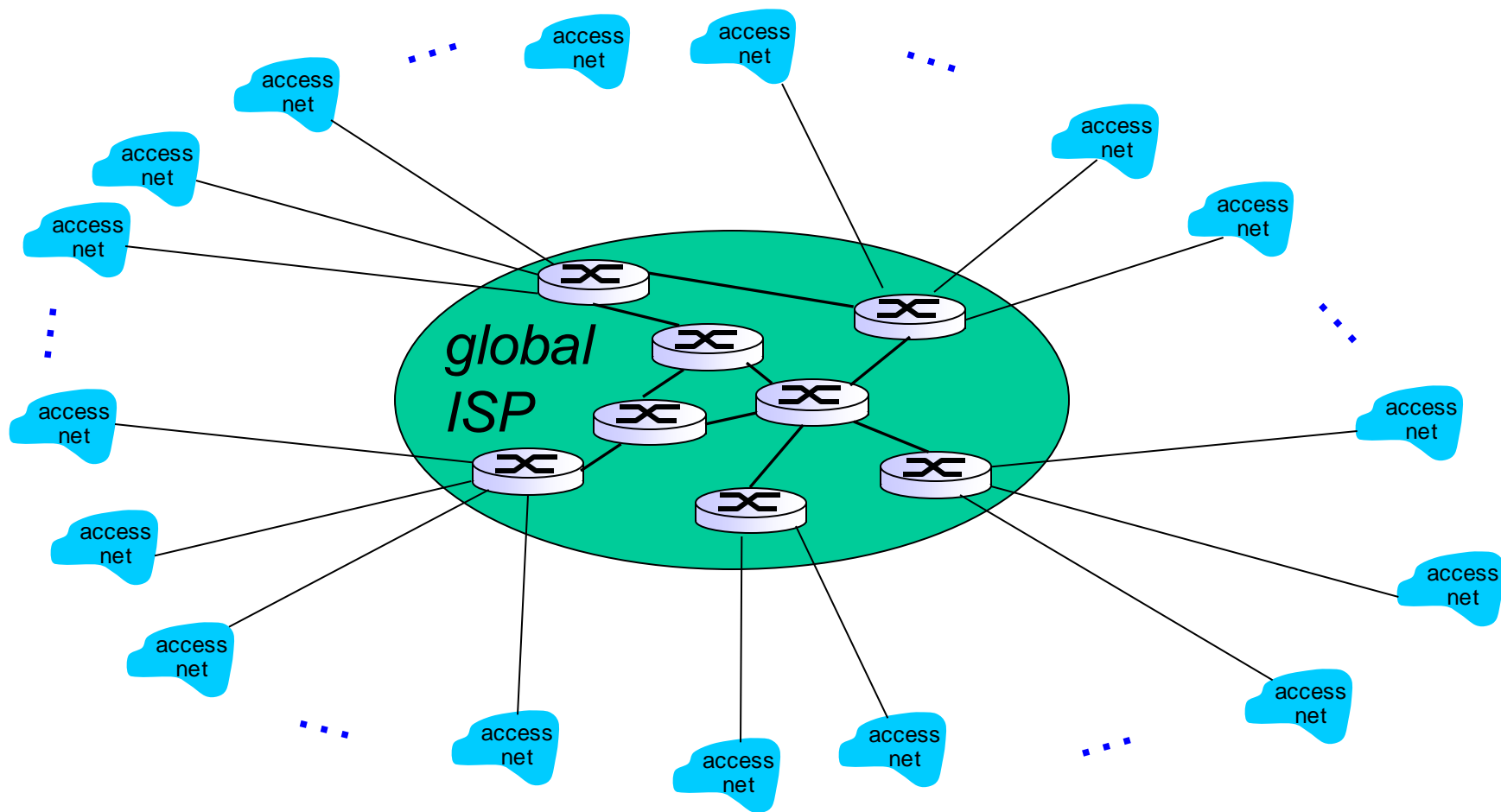
解决方案: 在任意两个接入ISP之间建立互联线路





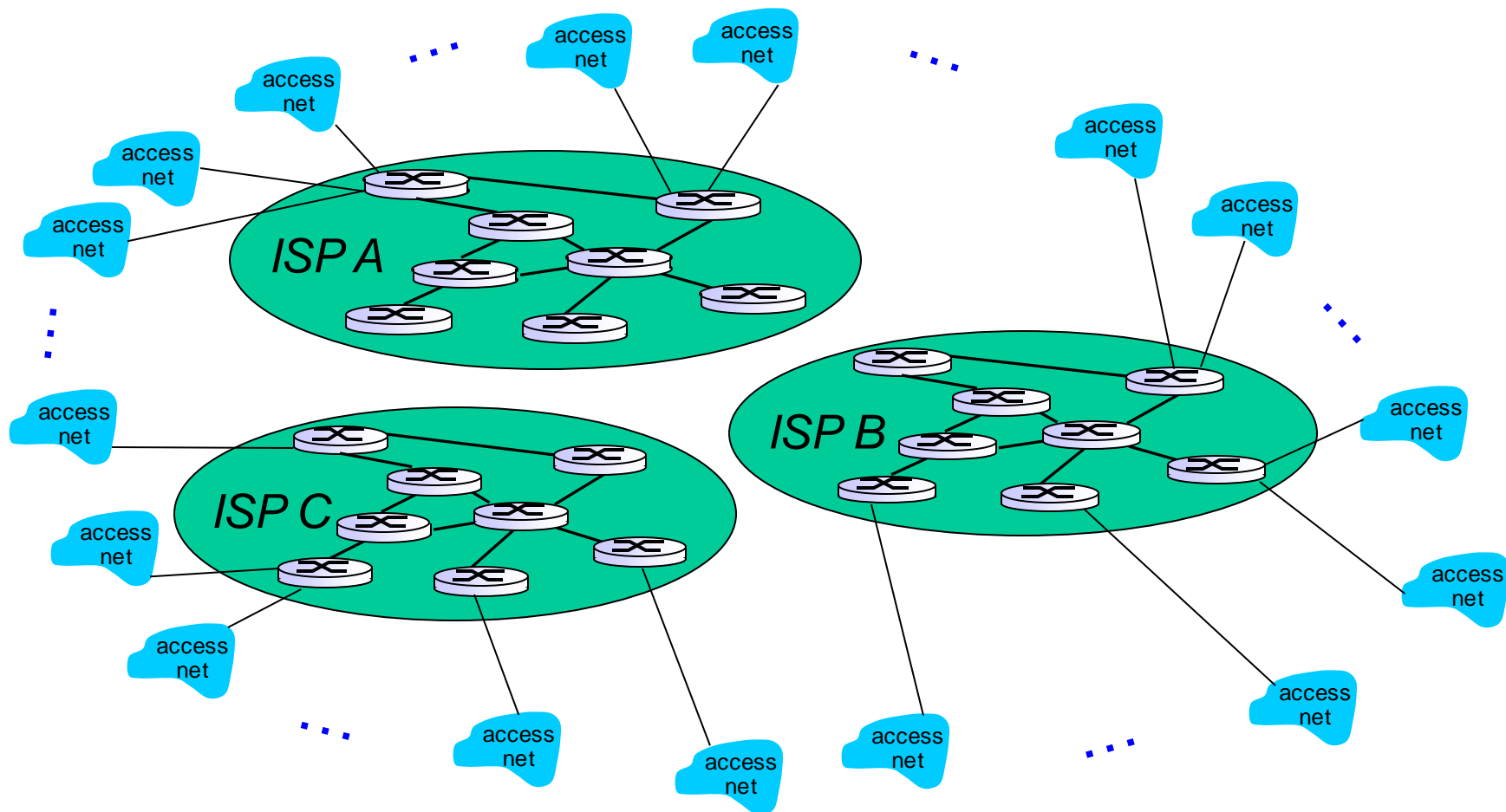
# 互联的架构: 网络的网络

解决方案: 建立全球ISP, 为所有的接入ISP提供互联互通服务



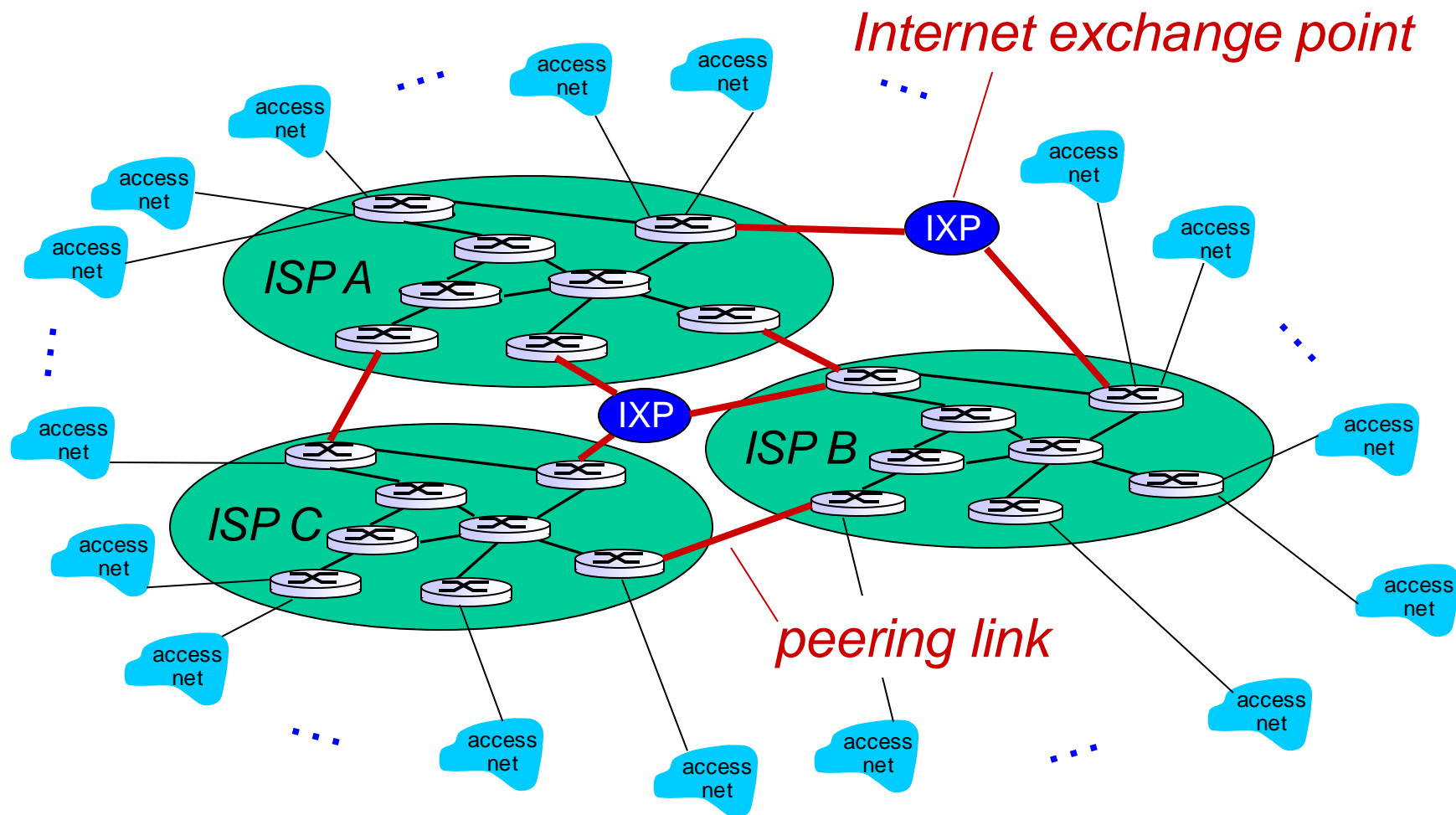
# 互联的架构：网络的网络

- 全球ISP方案固有的弱点：安全和隐私
- ISP公司倾向于自建全球ISP



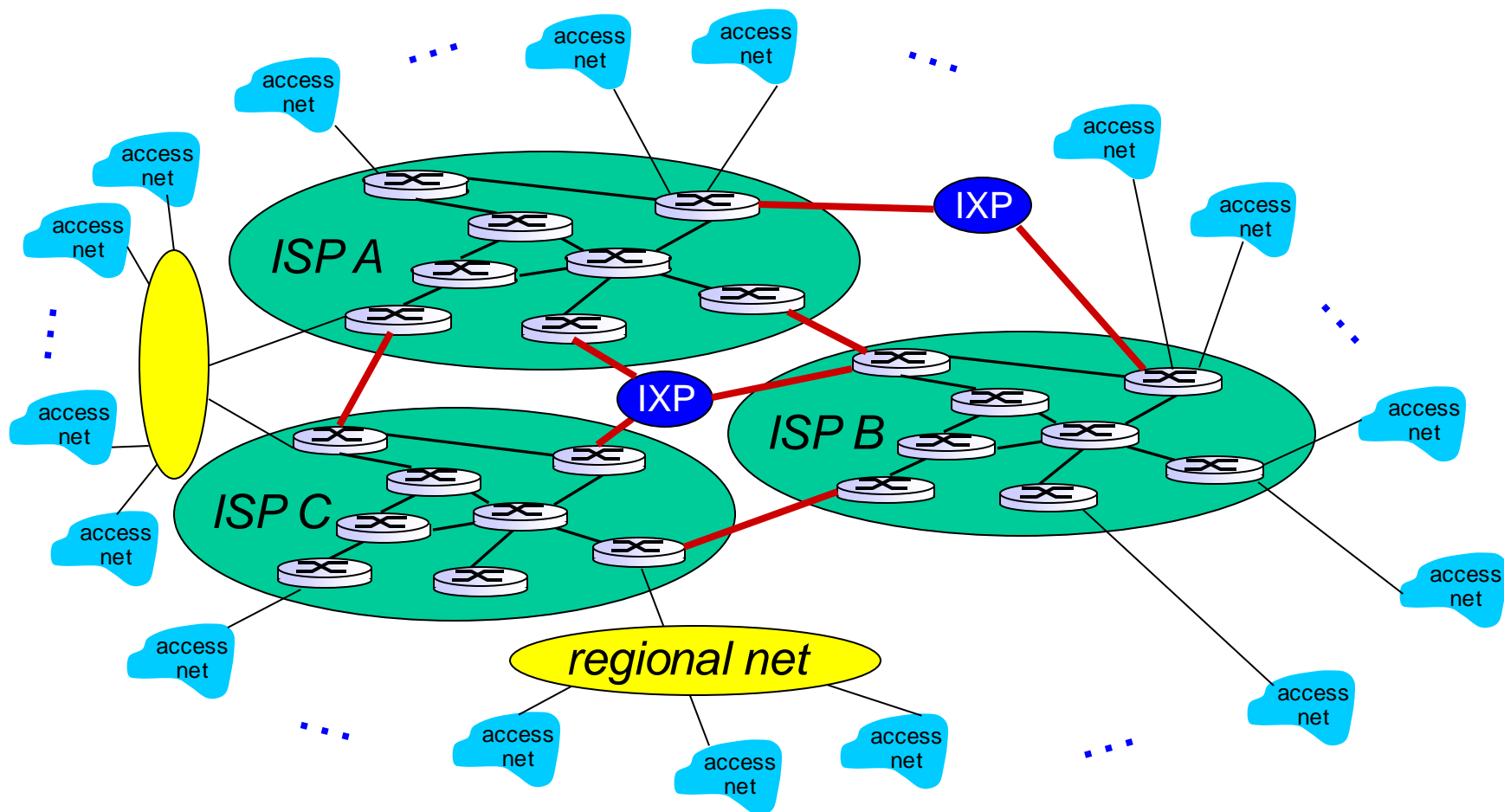
# 互联的架构: 网络的网络

而隶属不同运营商的全球ISP必须互通互联



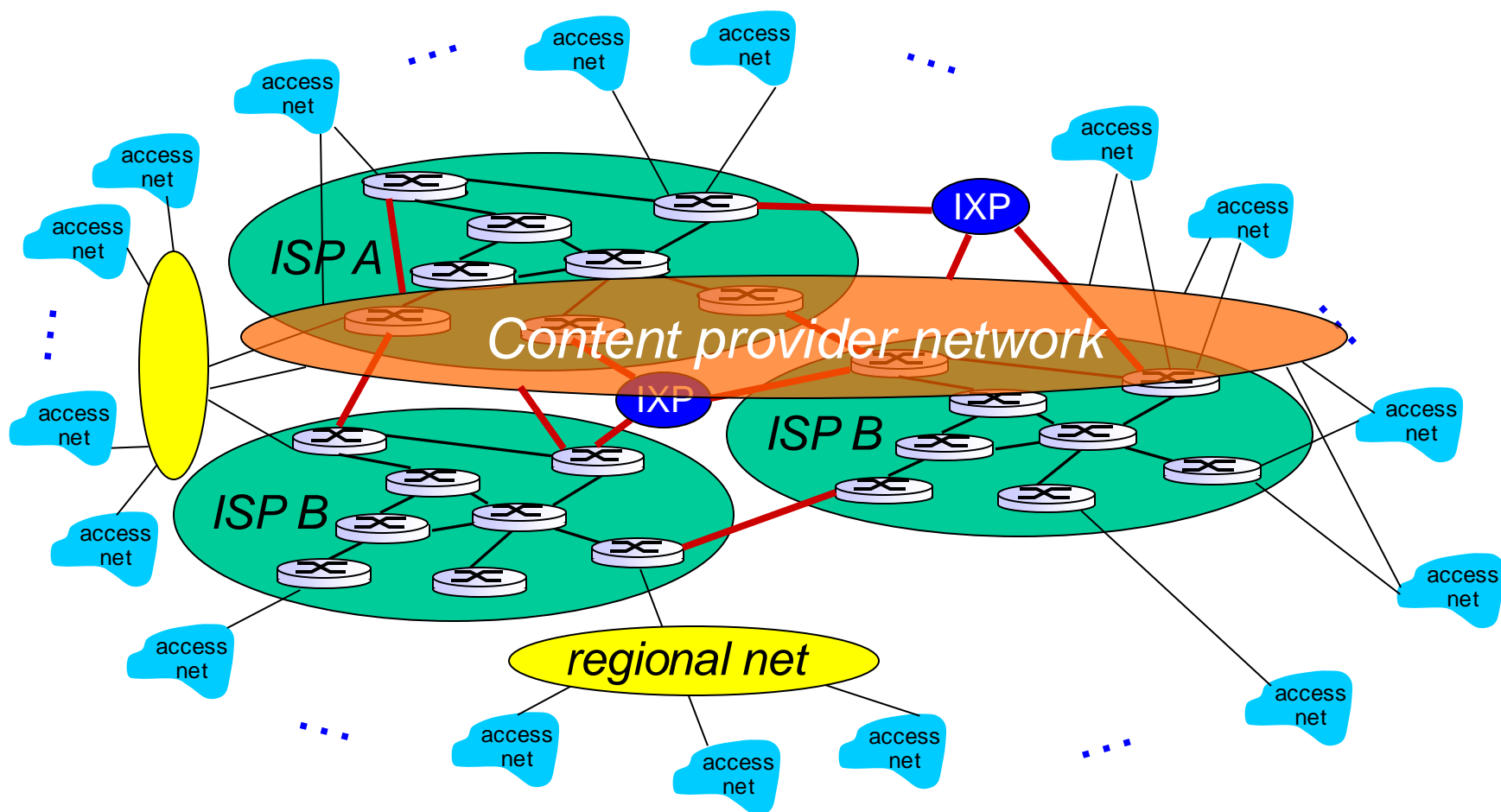
# 互联的架构：网络的网络

现实中有可能存在区域网络需要ISP

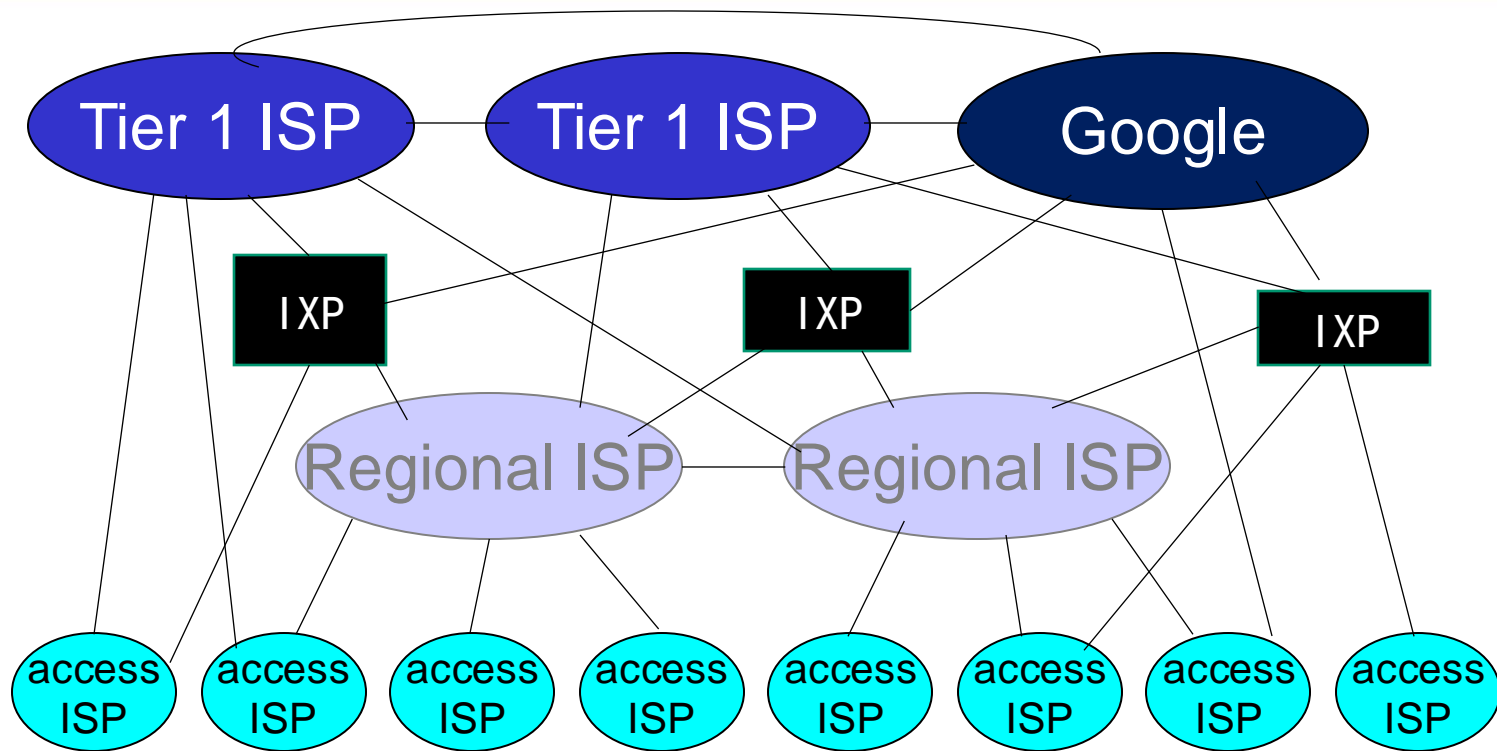


# 互联的架构：网络的网络

… 并且各内容提供商（content provider）倾向于建立自有的网络，e.g. Google, Microsoft, Akamai



# 互联的架构: 网络的网络



at center: small number of well-connected large networks

- ◆ **“tier-1” commercial ISPs** (e.g., Level 3, Sprint, AT&T, NTT), national & international coverage
- ◆ **content provider network** (e.g., Google): private network that connects its data centers to Internet, often bypassing tier-1, regional ISPs

## List of tier 1 networks  [edit]

These networks are recognised by the Internet community as tier 1 networks, even if some of them appear to have transit providers in CAIDA ranking.

<b>Name</b> <span>↕</span>	<b>Headquarters</b> <span>↕</span>	<b>AS number</b> <span>↕</span>	<b>January 2015 degree</b> <sup>[8]</sup> <sup>[9]</sup> <span>↕</span>	<b>Peering policy</b> <span>↕</span>
AT&T <sup>[10]</sup>	<span>United States</span>	7018	2403	<span>AT&amp;T Peering policy</span> <a href="#">↗</a>
<span>Cogent Communications</span> (formerly PSINet) <sup>[11]</sup>	<span>United States</span>	174	4212	<span>Cogent Peering Policy</span> <a href="#">↗</a>
<span>CenturyLink</span> (formerly Qwest) <sup>[12]</sup>	<span>United States</span>	209	1580	<span>Qwest Peering Policy</span> <a href="#">↗</a>
<span>Deutsche Telekom</span> <sup>[13]</sup>	<span>Germany</span>	3320	557	<span>DTAG Peering Details</span> <a href="#">↗</a>
<span>Global Telecom &amp; Technology</span> (GTT) (formerly Tinet & nLayer) <sup>[14]</sup>	<span>United States - Italy</span>	3257	1432	<span>GTT Peering Policy</span> <a href="#">↗</a>
<span>Hurricane Electric</span> IPv6 Network (AS-HURRICANEv6) <sup>[15]</sup>	<span>United States</span>	6939	2790	<span>Hurricane Electric Peering Policy</span> <a href="#">↗</a>
<span>Level 3 Communications</span> (formerly Level 3 and Global Crossing) <sup>[16]</sup> <sup>[17]</sup>	<span>United States</span>	3356 / 3549 / 1	4260	<span>Level 3 Peering Policy</span> <a href="#">↗</a>
<span>NTT Communications</span> (America) (formerly Verio) <sup>[18]</sup>	<span>Japan</span>	2914	1279	<span>North America</span> <a href="#">↗</a>
<span>Orange</span> (OpenTransit) <sup>[19]</sup>	<span>France</span>	5511	143	<span>OTI peering policy</span> <a href="#">↗</a>
<span>Tata Communications</span> (America) (Acquired Teleglobe) <sup>[20]</sup>	<span>India</span>	6453	653	<span>Peering Policy</span> <a href="#">↗</a>
<span>Telecom Italia Sparkle</span> (Seabone) <sup>[21]</sup>	<span>Italy</span>	6762	489	<span>Peering Policy</span> <a href="#">↗</a>
<span>Telefonica Global Solutions</span> <a href="#">↗</a> <sup>[22]</sup>	<span>Spain</span>	12956	174	<span>Telefonica Peering Policy</span> 
<span>TeliaSonera International Carrier</span> <sup>[23]</sup>	<span>Sweden - Finland</span>	1299	1139	<span>TeliaSonera International Carrier Global Peering Policy</span> 
<span>Verizon Enterprise Solutions</span> (formerly UUNET) <sup>[24]</sup> <sup>[25]</sup> <sup>[26]</sup>	<span>United States</span>	701 / 702 / 703	1373	<span>Verizon UUNET Peering policy</span> 701, 702, 703 <a href="#">↗</a>
<span>XO Communications</span> <sup>[27]</sup>	<span>United States</span>	2828	1159	<span>XO Peering Policy</span> <a href="#">↗</a>
<span>Zayo Group</span> (formerly AboveNet) <sup>[28]</sup>	<span>United States</span>	6461	1489	<span>Zayo Peering Policy</span> <a href="#">↗</a>

- 1.1 什么是因特网?
- 1.2 网络边缘
- 1.3 网络核心
- 1.4 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量
- 1.5 协议层次和它们的服务模型
- 1.6 因特网的历史



# 协议“分层”

网络是复杂的！

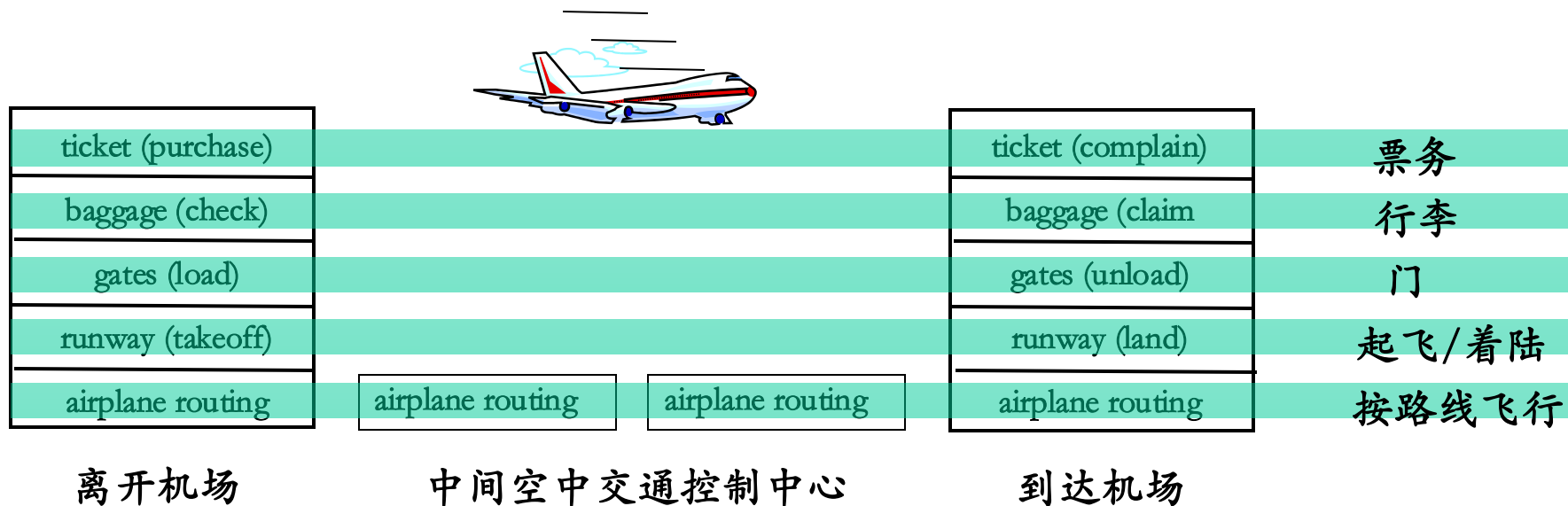
许多“构件”：主机，路由器，各种媒体的链路，应用程序，协议，硬件，软件

问题：

有没有一种结构化的东西来描述/构建Internet？

**协议分层体系结构**

# 航班功能的分层



层次: 每一层实现一种服务

➤ 由层内动作完成服务

➤ 每层依赖下面层次提供的服务

# 分层的好处

## 分层的好处

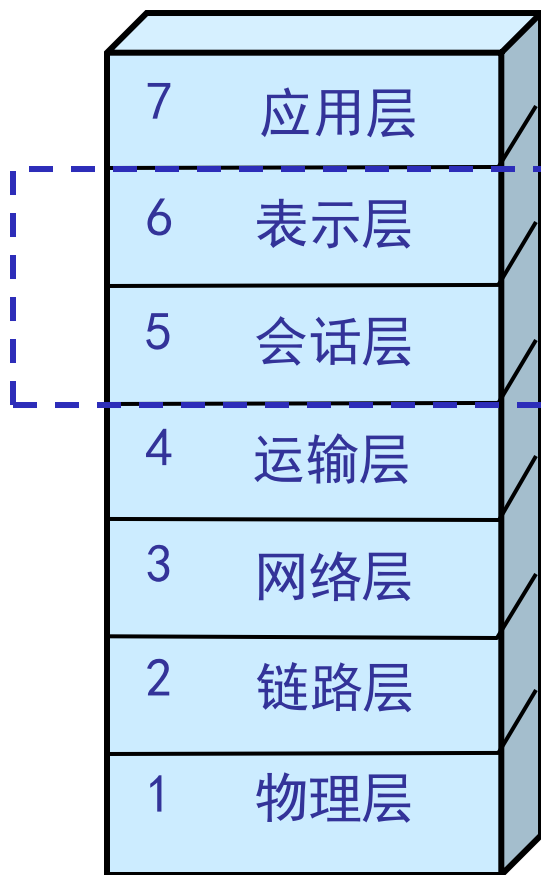
- ⑩ 明确的结构有利于理解复杂系统构件的关系
- ⑩ 灵活性好
- ⑩ 模块化易于实现和维护
- ⑩ 能促进标准化工作

## 分多少层合适

- ⑩ 层数太少，就会使每一层的协议太复杂。
- ⑩ 层数太多又会在描述和综合各层功能的系统工程任务时遇到较多的困难

# OSI 七层模型与TCP/IP 五层模型

OSI 的体系结构



表示层: 把数据转换为能与接收者的系统格式兼容并适合传输的格式

会话层: 负责在数据传输中设置和维护电脑网络中两台电脑之间的通信连接。

开发者在应用程序中实现

TCP/IP 的体系结构

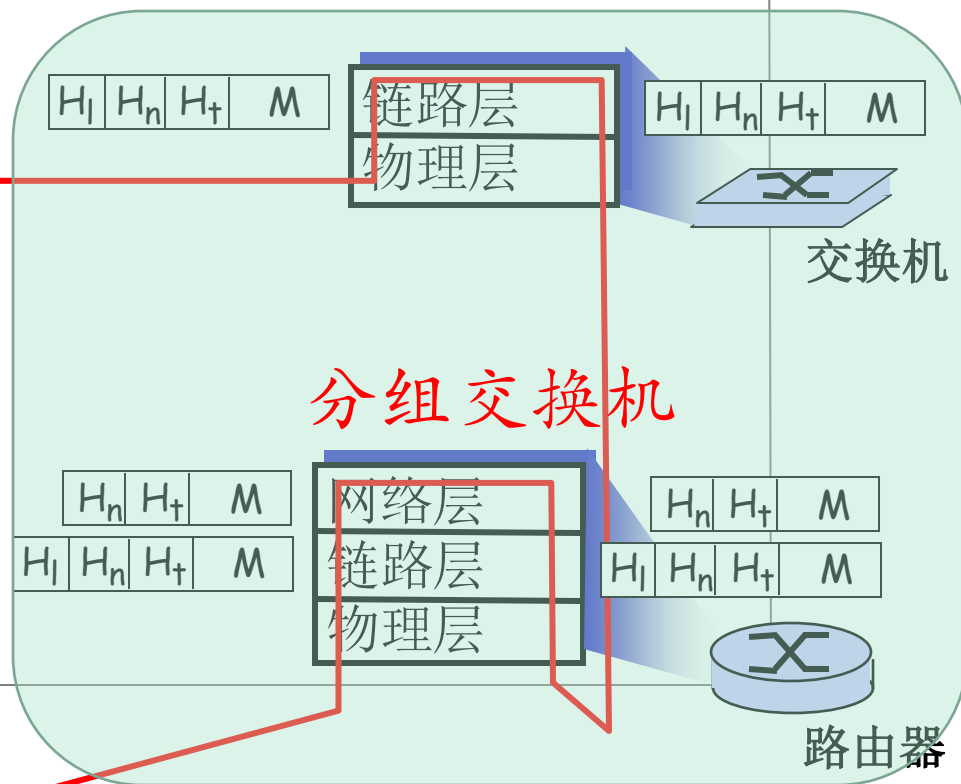
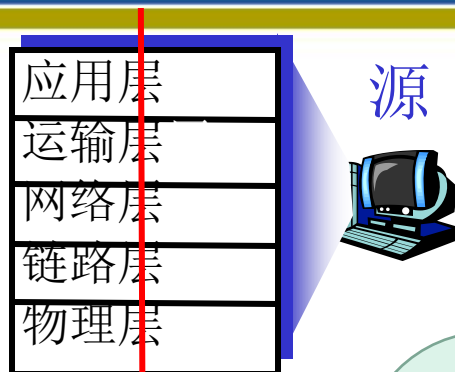
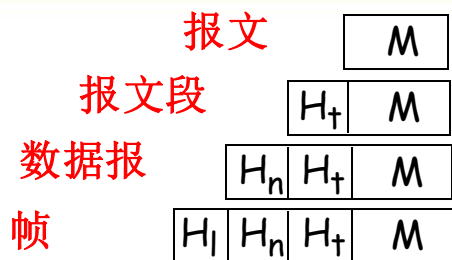


# TCP/IP五层模型

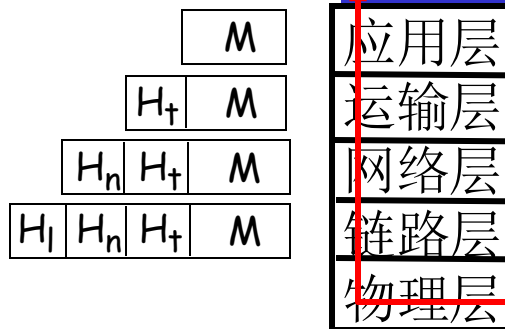
- **应用层**: 包含大量应用普遍需要的协议, 支持网络应用
  - ◆ FTP, SMTP, HTTP
- **运输层**: 主机到主机数据传输, 负责从应用层接收消息, 并传输应用层的message, 到达目的后将消息上交应用。
  - ◆ TCP, UDP
- **网络层**: 从源到目的地数据报的选路
  - ◆ IP, 选路协议
- **链路层**: 在邻近网络节点之间传输数据
  - ◆ PPP, 以太网
- **物理层**: 物理层负责将链路层帧中每一位(bit)从链路的一端传输到另一端。



# 封装

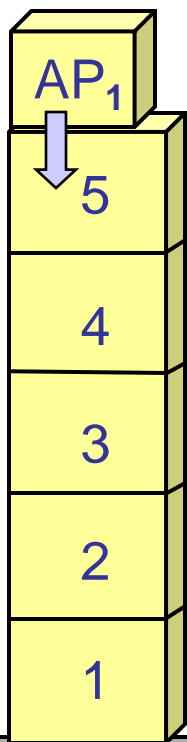


目的地



# 计算机1向计算机2发送数据

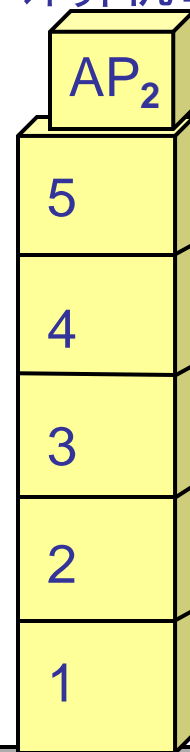
计算机 1



应用进程数据先传送到应用层

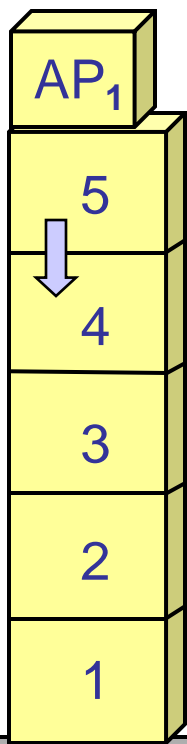
加上应用层首部，成为应用层 报文

计算机 2



# 计算机1向计算机2发送数据

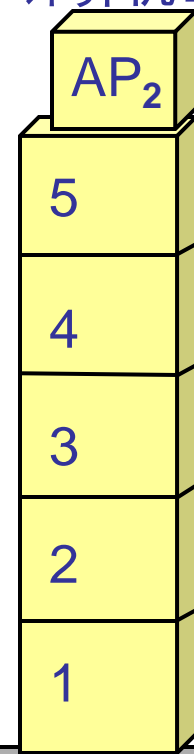
计算机 1



应用层 报文再传送到运输层

加上运输层首部，成为运输层报文段

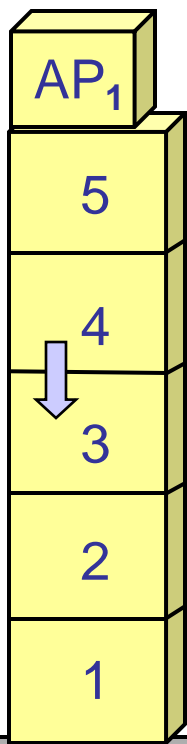
计算机 2





# 计算机1向计算机2发送数据

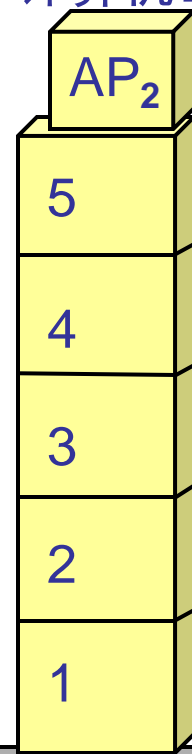
计算机 1



运输层报文段再传送到网络层

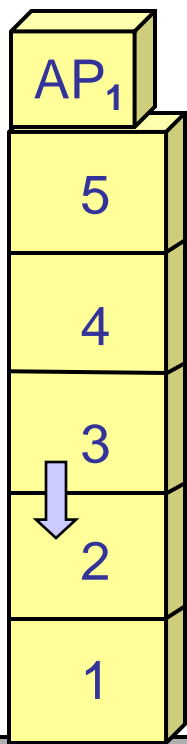
加上网络层首部，成为 网络层数据报

计算机 2



# 计算机1向计算机2发送数据

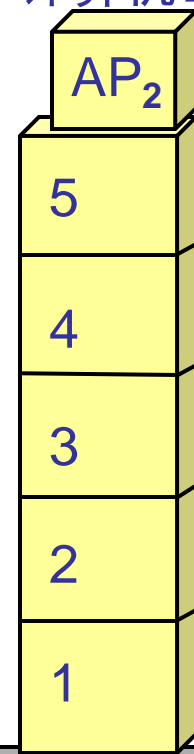
计算机 1



数据报再传送到数据链路层

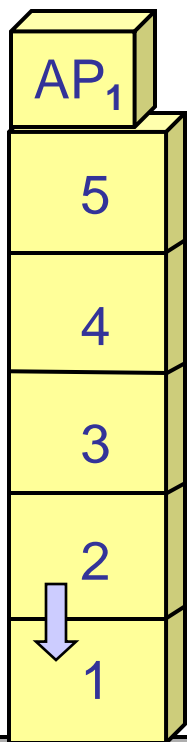
加上链路层首部和尾部，成为数据链路层帧

计算机 2



# 计算机1向计算机2发送数据

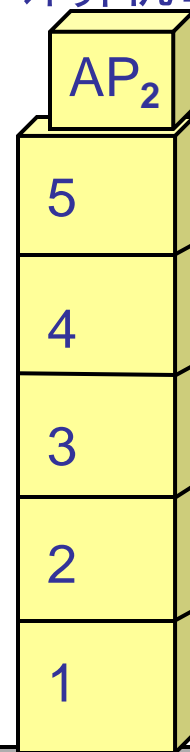
计算机 1



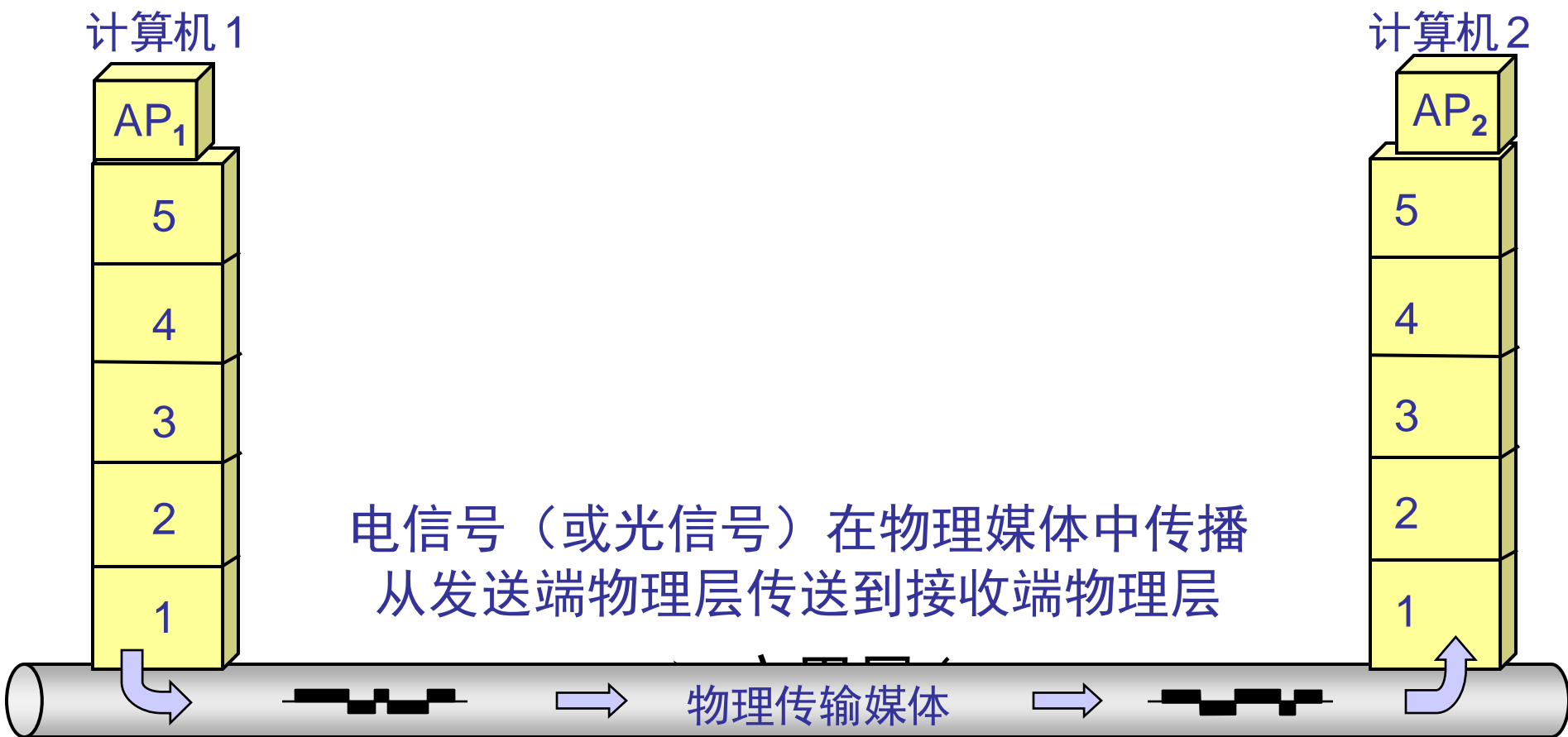
数据链路层帧再传送到物理层

最下面的物理层把比特流传送到物理媒体

计算机 2

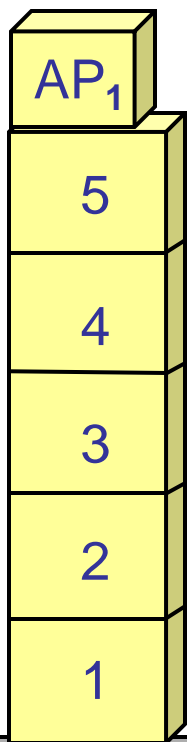


# 计算机1向计算机2发送数据

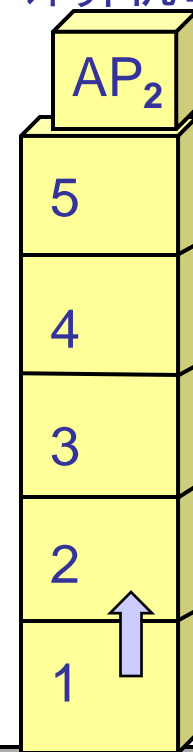


# 计算机1向计算机2发送数据

计算机 1



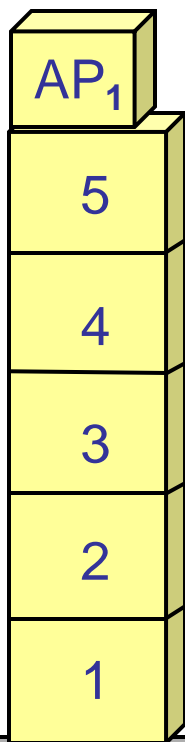
计算机 2



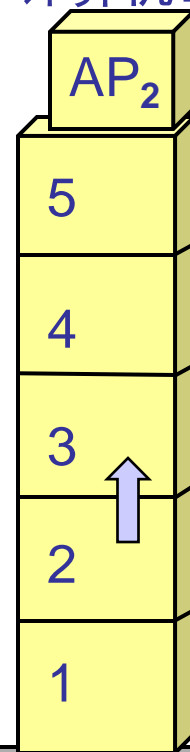
物理层接收到比特流，上交给数据链路层

# 计算机1向计算机2发送数据

计算机 1



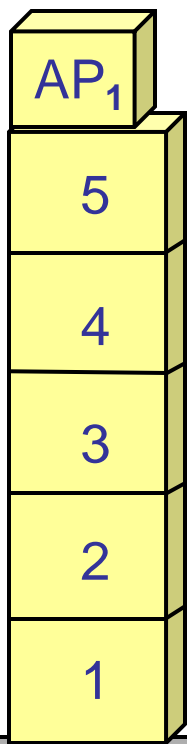
计算机 2



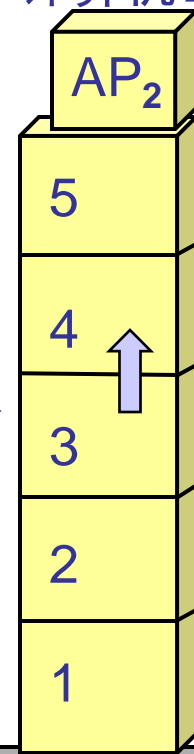
数据链路层剥去帧首部和帧尾部  
取出数据部分，上交给网络层

# 计算机1向计算机2发送数据

计算机 1



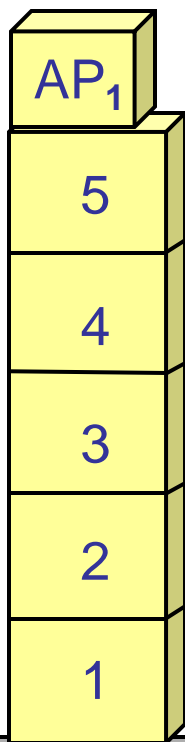
计算机 2



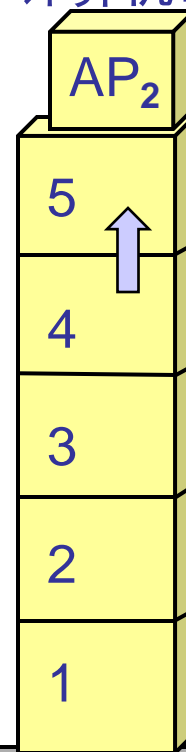
网络层剥去首部，取出数据部分  
上交给运输层

# 计算机1向计算机2发送数据

计算机 1



计算机 2

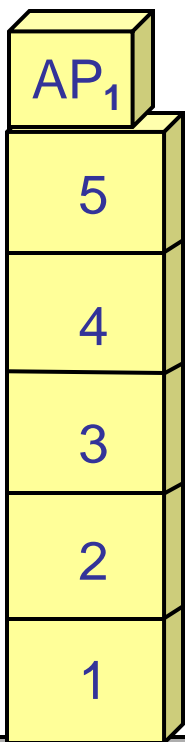


运输层剥去首部，取出数据部分  
上交给应用层



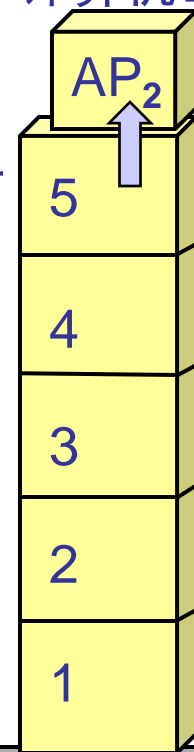
# 计算机1向计算机2发送数据

计算机 1



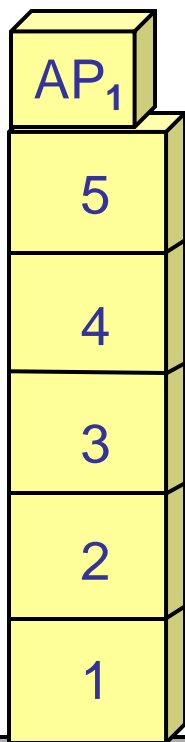
应用层剥去首部，取出应用程序数据  
上交给应用进程

计算机 2



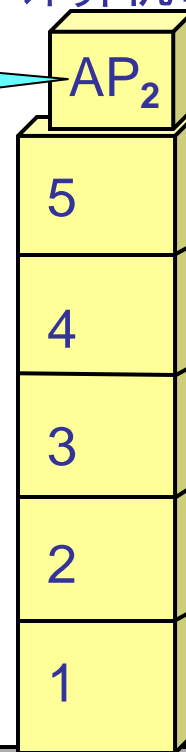
# 计算机1向计算机2发送数据

计算机 1

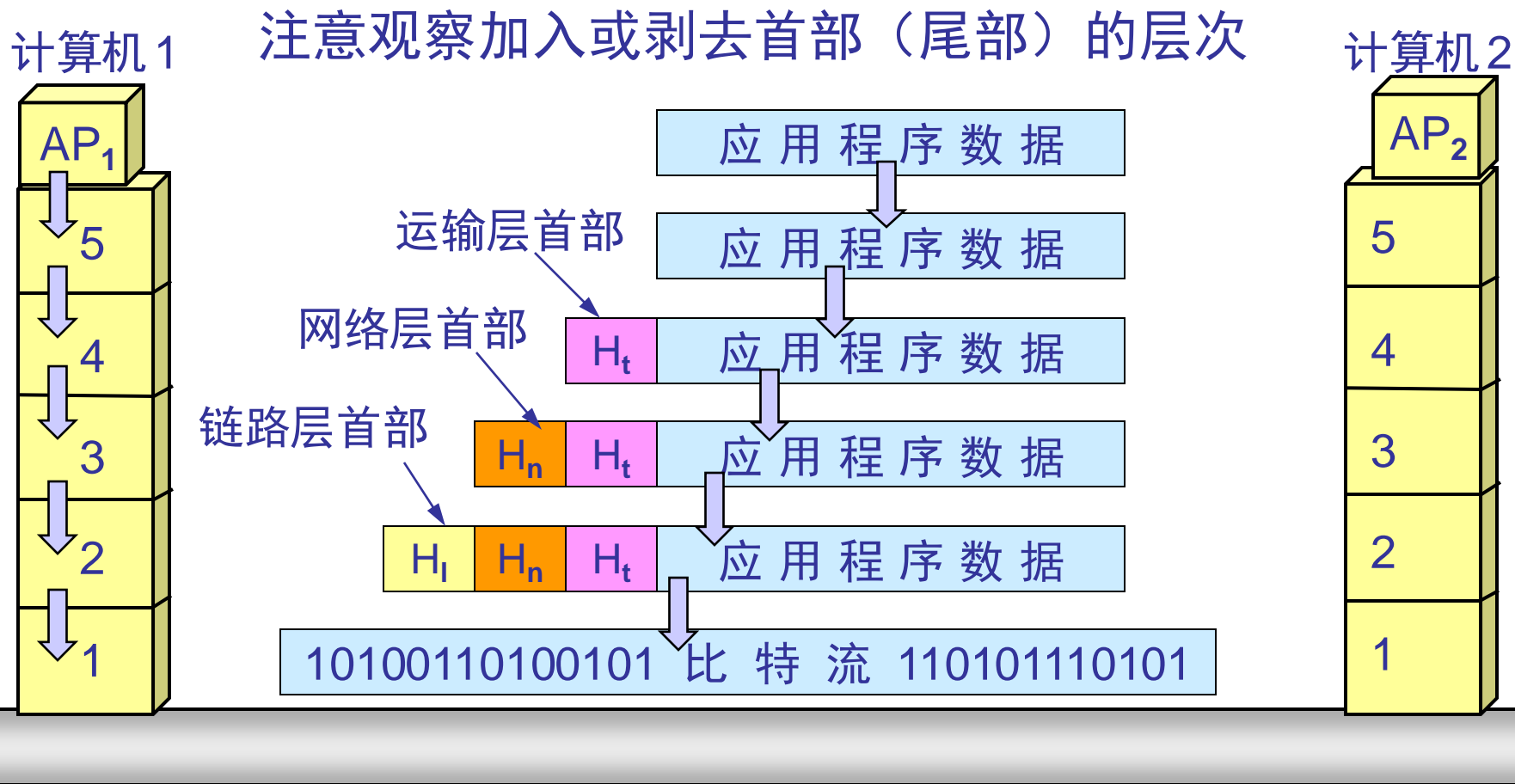


我收到了  $AP_1$  发来的  
应用程序数据！

计算机 2



# 计算机1向计算机2发送数据



- 1.1 什么是因特网?
- 1.2 网络边缘
- 1.3 网络核心
- 1.4 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量
- 1.5 协议层次和它们的服务模型
- 1.6 计算机网络历史

# 互联网的历史

## 国际互联网的发展：

### ➤ 1961-1990：构思与成熟（军转民）

分组交换协议；ARPAnet；ALOHAnet；  
网络控制协议（NCP）

### ➤ 1990-2000：飞速发展

欧洲核子研究中心（CERN）：WWW；  
电子邮件；浏览器；在线商务；

### ➤ 2000-至今：互联网（Internet）→物联网（Internet of Things）

# 互联网的历史

## ➤ 第一阶段为1986年至1996年起步阶段

- ◆ 1987年9月14日发出了中国第一封电子邮件：“Across the Great Wall we can reach every corner in the world.”
- ◆ 1994年通过美国Sprint公司连入Internet的64K国际专线开通
- ◆ 1995年5月，中国电信开始筹建计中国自有计算机互联网（CHINANET）

## ➤ 第二阶段为1997至今，快速增长

- ◆ 2000年5月17日，中国移动互联网(CMNET)投入运行
- ◆ 2001年12月22日，中国联通CDMA移动通信网一期工程如期建成
- ◆ 2003年4月9日，中国网通集团从中国电信集团拆分出来

Rank ◆	Company ◆	Revenue USD billions ◆	F.Y. ◆	Employees ◆	Market cap. USD billions ◆	Headquarters ◆	Founded ◆	Industry ◆
1	Amazon	\$469.82	2021	1,608,000	\$1,691	 Seattle	1994	Ecommerce
2	Alphabet	\$257.64	2021	156,500	\$1,917	 Mountain View	1998	Internet
3	JD.com	\$149.32	2021	385,357	\$109.62	 Beijing	1998	Ecommerce
4	Meta	\$117.93	2021	71,970	\$935.64	 Menlo Park	2004	Social Media
5	Alibaba	\$109.48	2021	251,462	\$330.67	 Hangzhou	1999	Ecommerce
6	Tencent	\$87.85	2021	112,771	\$562.84	 Shenzhen	1998	Internet
7	ByteDance	\$58	2021	110,000	\$353	 Beijing	2012	Social Media
8	Netflix	\$29.7	2021	12,135	\$267.46	 Los Gatos	1997	Entertainment
9	Meituan	\$27.77	2021	100,033	\$177.34	 Beijing	2010	Ecommerce
10	PayPal	\$25.37	2021	30,900	\$220.26	 San Jose	1998	Financial Services

# 常见的网络攻击方式

- 病毒virus
- DOS攻击
- IP地址欺骗和IP包替换
- 口令破解
- 窃听
- 防火墙
- 入侵检测系统 (IDS)
- 入侵防御系统 (IPS)
- VPN产品
- 防病毒软件



**美国监控分级**

**第一级：海外领导人**  
伊朗 朝鲜 中国 俄罗斯

**第二级：联合国、北约 盟国**  
监控涉及经济稳定性方面的问题

**第三级：德国、法国、日本**  
外交政策 监控贸易政策

**第四级：英国、澳大利亚、加拿大、新西兰**  
先进武器系统 一些子项目

**第五级：全球领导人**  
奥巴马 克林顿 内塔尼亚胡  
所有方面数据收集

**7000 万次**  
美国监听的电话数量 (2012年12月10日至2013年1月8日)

**4600 万次**  
英国监听的电话数量 (2013年1月8日)

9月5日

# 本章小结与作业

## 重要内容:

- ⑩ 常用的物理媒体的特点。
- ⑩ 电路交换和分组交换要点。
- ⑩ 分组交换网络中的4种类型的时延。
- ⑩ 因特网协议栈自顶向下的5个层次及各层的主要功能；各层数据单元。

## 作业:

- ⑩ 复习回顾：R11, R13, R19, R23, R25, P3;
- ⑩ 课后作业：P6+P7, P8, P15, P16, P27, P31;