

计算机网络:自顶向下方法

肖周芳

计算机学院 1教606

计算机网络:自顶向下方法（第7版）

J.F.Kurose, K.W.Ross著,陈鸣译,机械工业出版社,2018.

Computer Networking: A Top-Down Approach(Seventh Edition)

J.F.Kurose, K.W.Ross,2017.

本PPT改编自英文版教材附带的PPT。

Chapter 1: Introduction

思考

- ❖ 什么是网络
- ❖ 网络的构成（包含什么）
- ❖ 使用网络关心什么
- ❖ 网络怎么运转的
- ❖ 网络设计需要注意什么
- ❖ 网络的负面影响

The background is a vibrant blue gradient. A complex network of white lines and dots, resembling a globe or a data map, is overlaid on the background. Various icons are scattered throughout: a satellite in the top left, a smartphone in the top center, a person with a signal icon in the top right, and several city buildings of varying heights in the bottom center. On the bottom left, there is a computer monitor displaying a signal icon. On the bottom right, there is another computer monitor and a smartphone. The overall theme is digital connectivity and technology.

**计算机和网络已经成为当今信息时代的核心，
已经成为信息社会的命脉和发展知识经济的重要基础。**

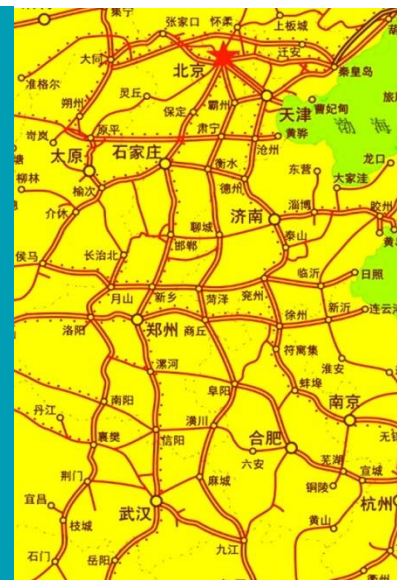
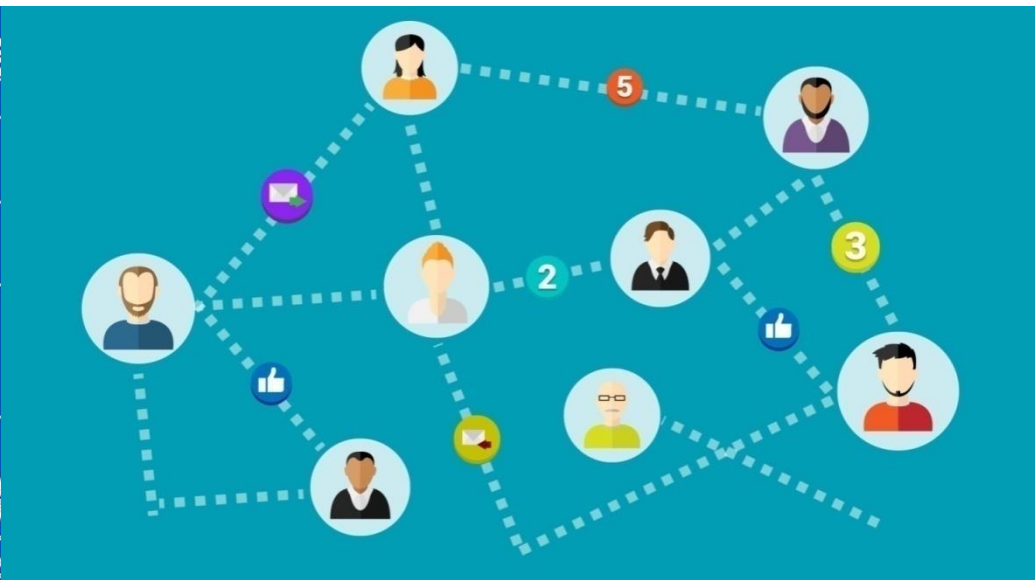
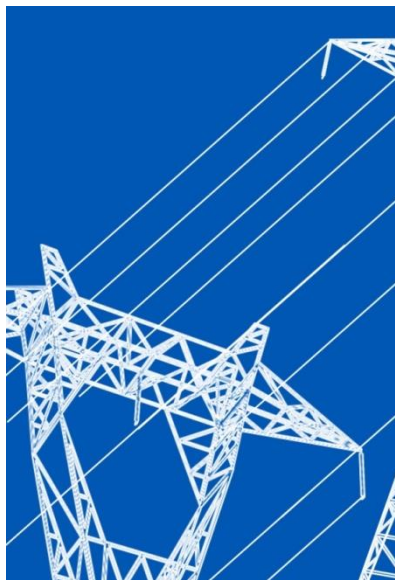
万物联网

人人用网



网络

- “网络”是一个统称，泛指把人或物互连在一起而形成的系统。



大众熟悉的三大类网络

电信网络



提供电话、电报
及传真等服务。

有线电视网络



向用户传送各
种电视节目。

计算机网络

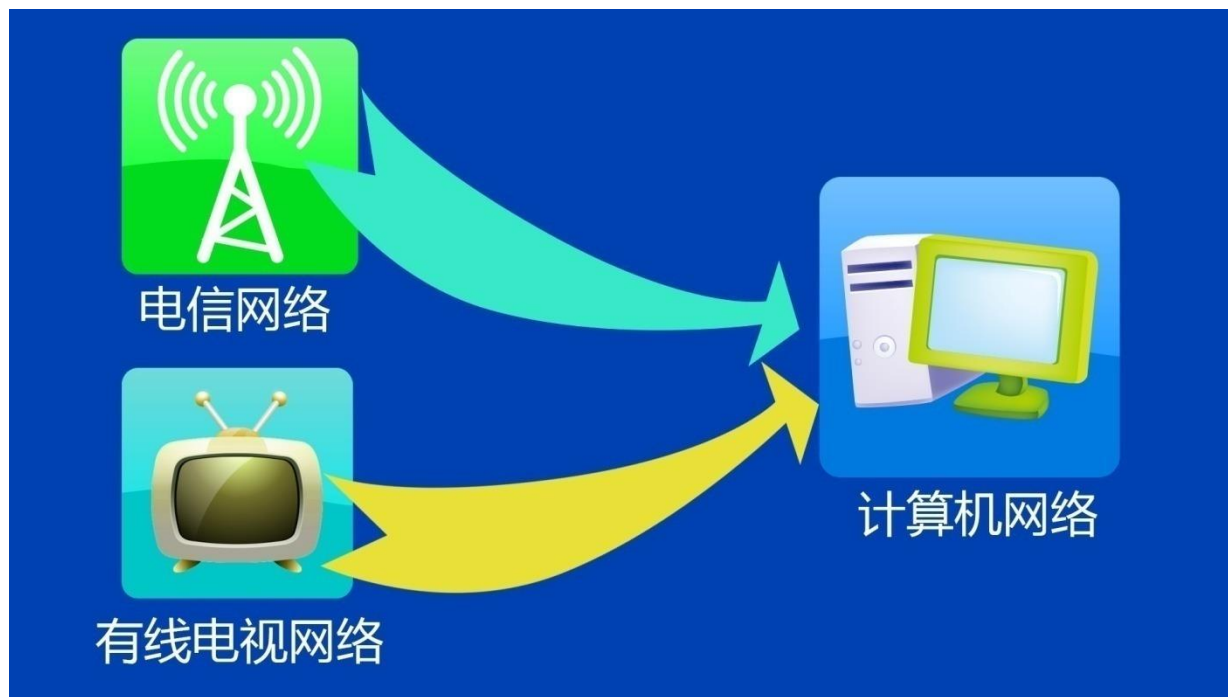


使用户能在计算机
之间传送数据文件

。

发展最快的并起到核心作用的是计算机网络。

“三网融合”



计算机网络的定义

- 计算机网络的精确定义并未统一。
- 较好的定义：

计算机网络主要是由一些通用的、可编程的**硬件**互连而成的，而这些硬件并非专门用来实现某一特定目的（例如，传送数据或视频信号）。这些可编程的硬件能够用来传送多种不同类型的数据，并能支持广泛的和日益增长的**应用**。

重要的两点

多种硬件

包括：计算机，智能手机，智能传感器等。

多种应用

包括：数据、语音、视频，以及今后可能出现的各种应用。

计算机网络的特点

连通性 (Connectivity)

- 使上网用户之间都可以交换信息（数据，以及各种音频视频），好像这些用户的计算机都可以彼此直接连通一样。
- **注意**，互联网具有虚拟的特点，无法准确知道对方是谁，也无法知道对方的位置。

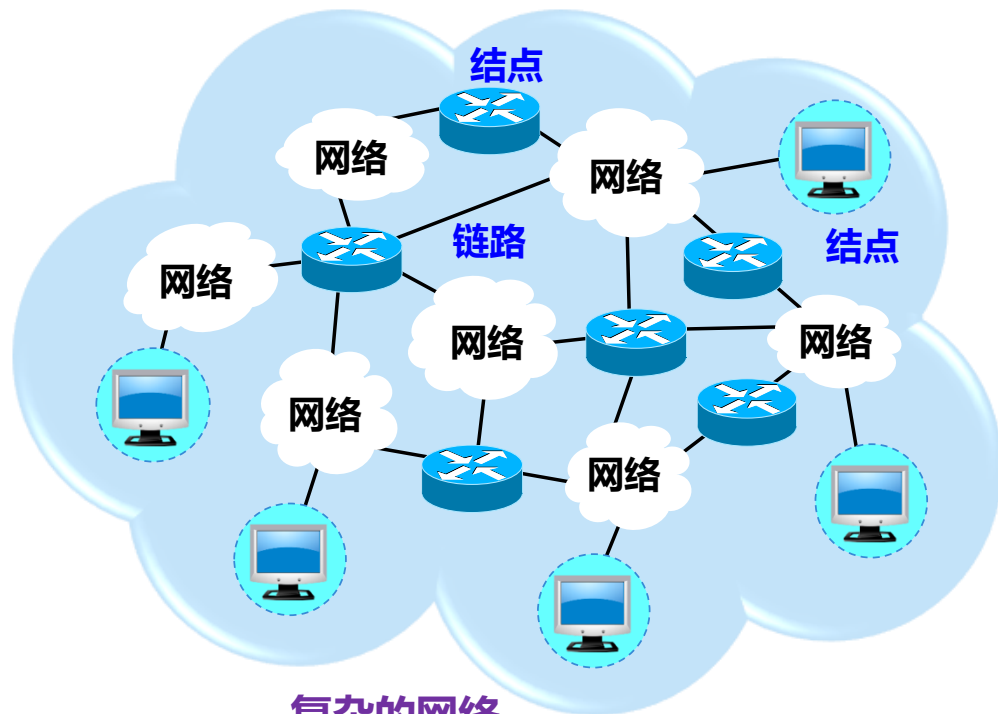
共享 (Sharing)

- 指资源共享。
- 资源共享的含义是多方面的。可以是信息共享、软件共享，也可以是硬件共享。
- 由于网络的存在，这些资源好像就在用户身边一样，方便使用。

用“图”表示网络



简单的网络



复杂的网络

图例



计算机



集线器



路由器



网络

互联网概念

互联网已经成为现代社会最为重要的基础设施



互联网定义

- **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，它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）则是一个专用名词，它指当前全球最大的、开放的、由众多网络相互连接而成的特定计算机网络，它采用 TCP/IP 协议族作为通信的规则，且其前身是美国的 ARPANET。

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

任意把几个计算机网络互连起来（不管采用什么协议），并能够相互通信，这样构成的是一个互连网 (internet)，而不是互联网 (Internet)。

Chapter 1: Introduction

Our goal:

- ❑ 认识一些术语
terminology
- ❑ 后续有加深入的介绍
- ❑ 策略:
 - ❖ 使用 **Internet** 为例

Overview:

- ❑ 什么是计算机网络?
- ❑ 什么是协议?
- ❑ 网络边缘:
主机, 接入网, 物理介质
- ❑ 网络核心:
包/电路交换, **Internet**架构
- ❑ 性能: 丢包, 延迟, 吞吐率
- ❑ 安全性
- ❑ 协议层次, 服务模型
- ❑ 历史

Chapter 1: roadmap

1.1 什么是 Internet?

1.2 网络边缘

- 端系统, 接入网, 链路

1.3 网络核心

- 电路交换, 数据报交换, 网络结构

1.4 包交换网络中的延迟, 丢包和吞吐率

1.5 协议层次, 服务模型

1.6 网络攻击: 安全性

1.7 历史

Internet 应用



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



Internet phones

什么是 Internet:组成

❑ 成千上万联网计算设备:

❑ 主机=端系统

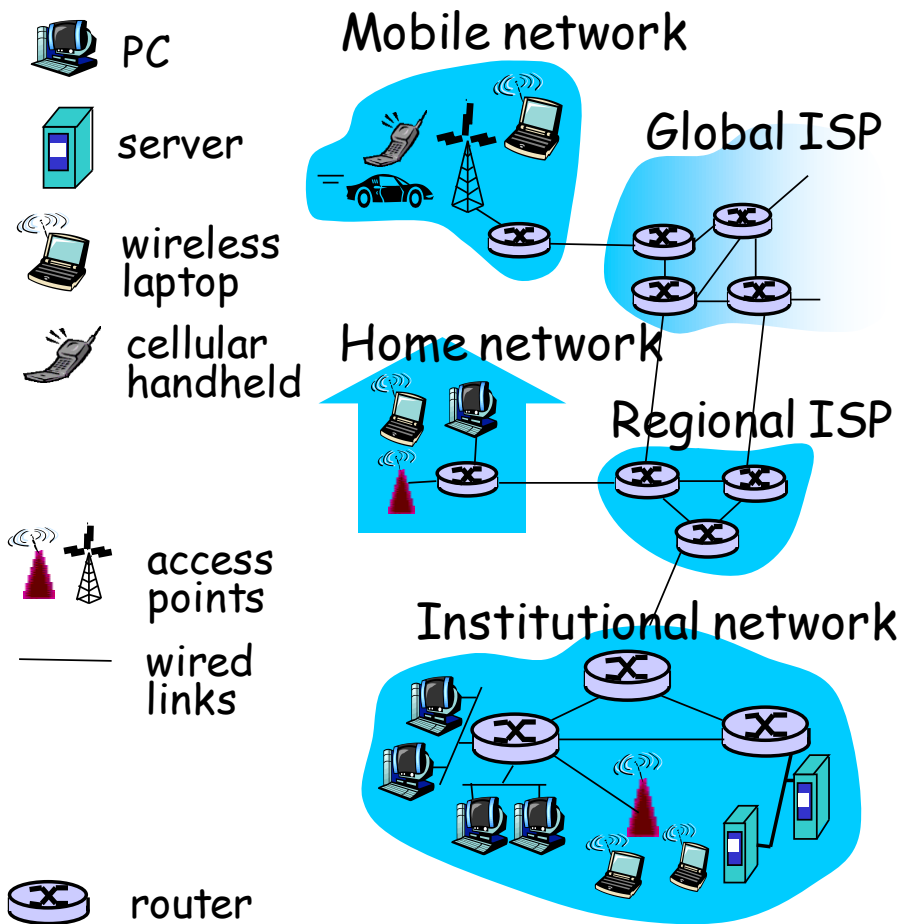
(hosts) = (end systems)

❖ 运行网络应用

❑ 端系统

❖ 包括便携机、智能手机、平板电脑、电视、游戏机、温度调节装置、家用安全系统、手表、眼镜、汽车、运输控制系统等

❖ 2015年大约50亿台（32亿用户，接近世界人口40%），2020年大约250亿台



什么是 Internet:组成

□ 通信链路

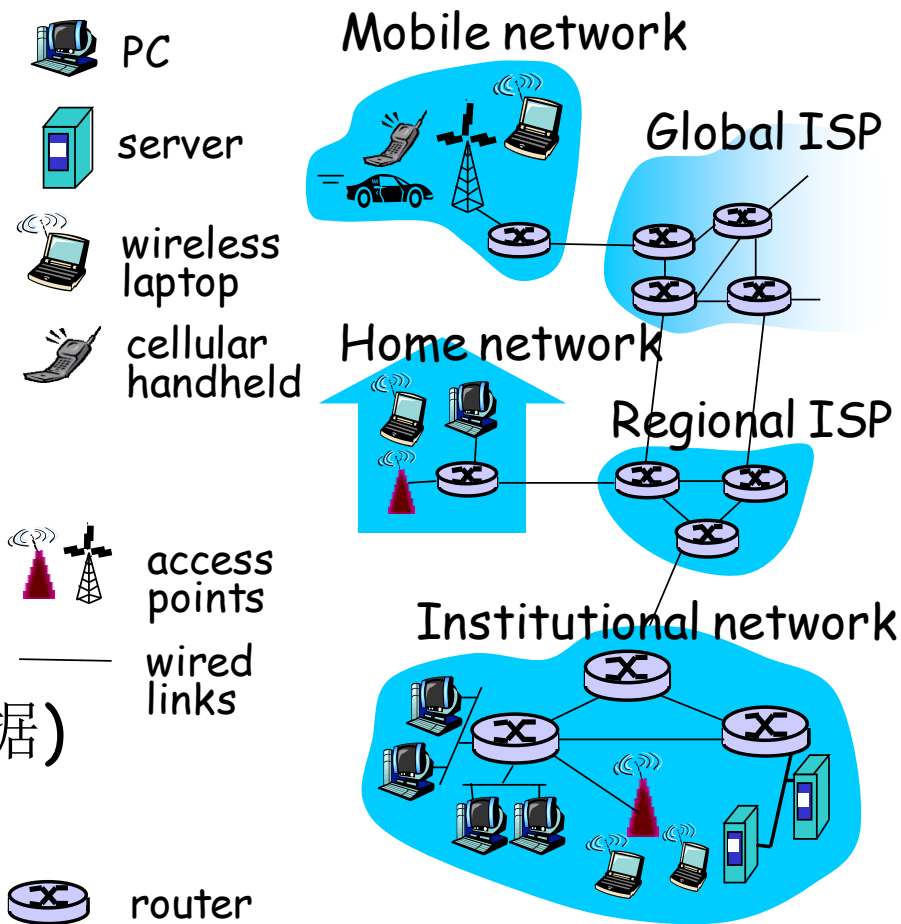
- ❖ 光纤(fiber),
铜线(copper),
无线电(radio)
- ❖ 传输链路: 带宽

□ 分组交换机

- ❖ 路由器(routers),
链路交换机,
- ❖ 前向转发数据报(一段数据)
- ❖ 类似车辆运输网络

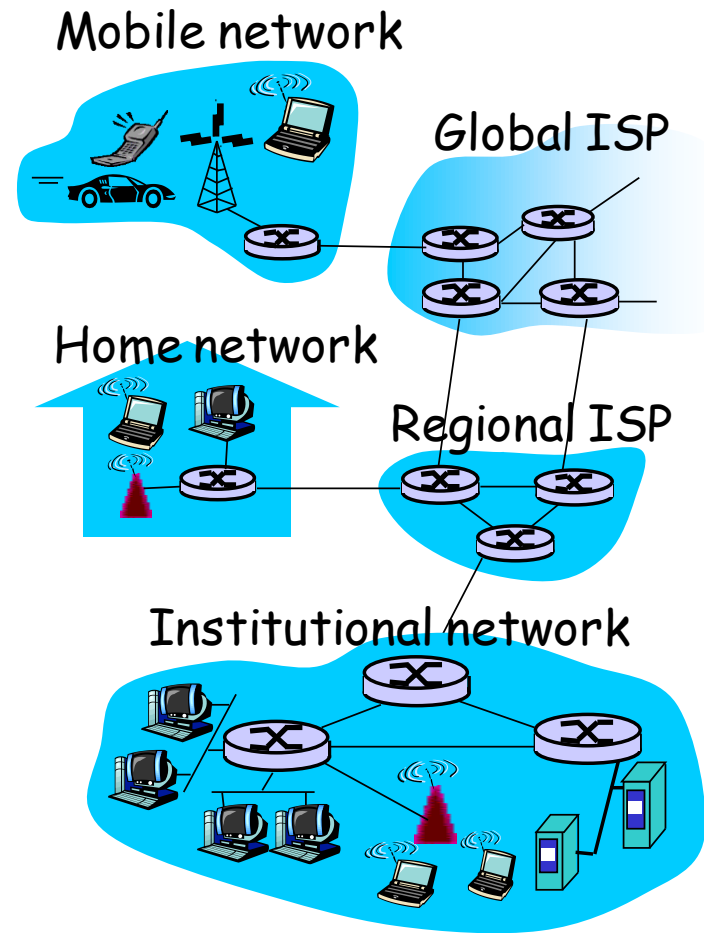
□ 因特网服务提供商 (ISP)

- ❖ 住宅ISP, 学校ISP....
- ❖ 每个ISP是一个独立的网络



什么是 Internet:组成

- ❑ **协议:** 控制发送和接受消息
 - ❖ e.g., TCP, IP, HTTP, Ethernet
- ❑ **Internet:** 网络的网络
 - ❖ 层次结构
 - ❖ Internet & Intranet
- ❑ **Internet 标准**
 - ❖ RFC: Request for comments
 - ❖ IETF:
Internet Engineering Task Force



什么是 Internet:服务

□ 通信架构

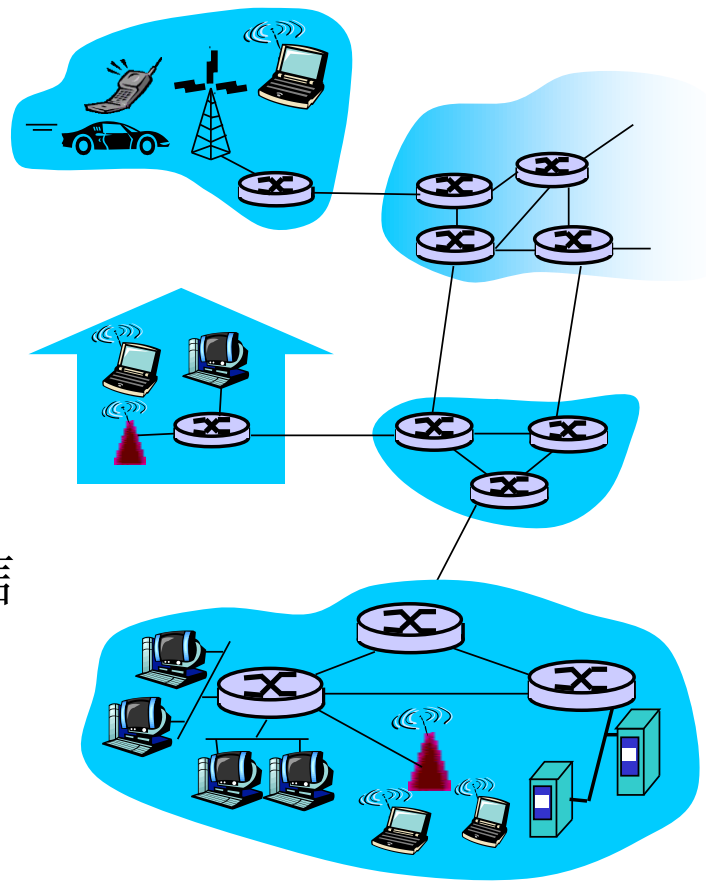
使分布式应用成为可能:

- ❖ Web, VoIP, email, games, e-commerce, file sharing

□ 通信服务

提供给应用:

- ❖ 为源/目的主机提供可靠通信
- ❖ 尽最大努力通信
"best effort" (不可靠通信)



什么是协议(protocol)?

人类的协议:

- ❑ "what's the time?"
- ❑ "I have a question"
- ❑ introductions

... 包含内容:

发送的 消息

接收 消息 后采取的动作

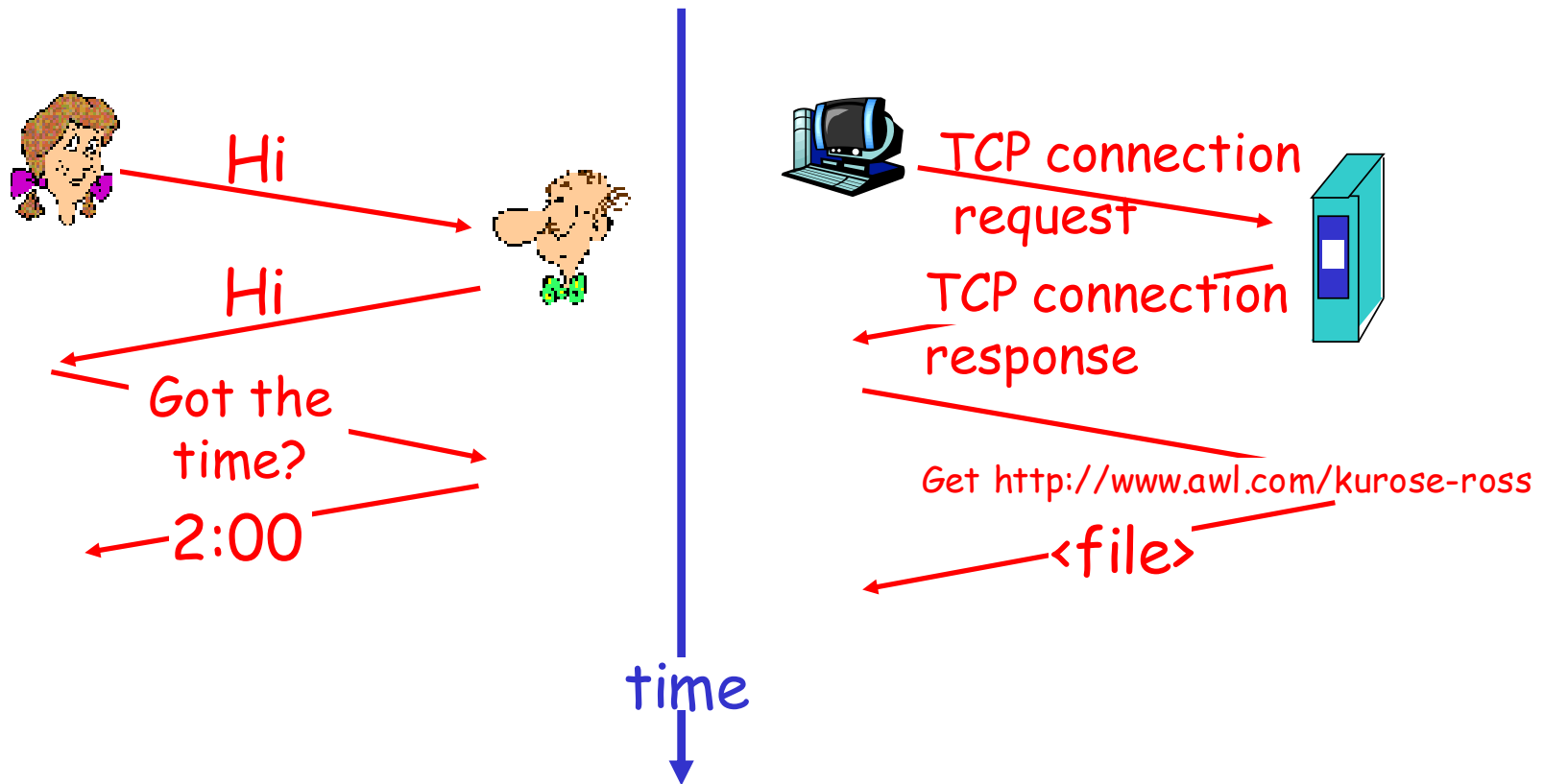
网络协议:

- ❑ 机器而不是人类
- ❑ **Internet** 中的所有通讯都由协议来规范

协议定义了 两个或多个通信实体之间交换的
报文格式,
发送或接收消息的次序,
发送接收消息后采取的动作

什么是协议?

人类的协议和计算机网络的协议:



Chapter 1: roadmap

1.1 什么是 Internet?

1.2 网络边缘

- 端系统, 接入网, 链路

1.3 网络核心

- 电路交换, 数据报交换, 网络结构

1.4 包交换网络中的延迟, 丢包和吞吐率

1.5 协议层次, 服务模型

1.6 网络攻击: 安全性

1.7 历史

网络架构:

□ 网络边缘:

- ❖ 应用和主机

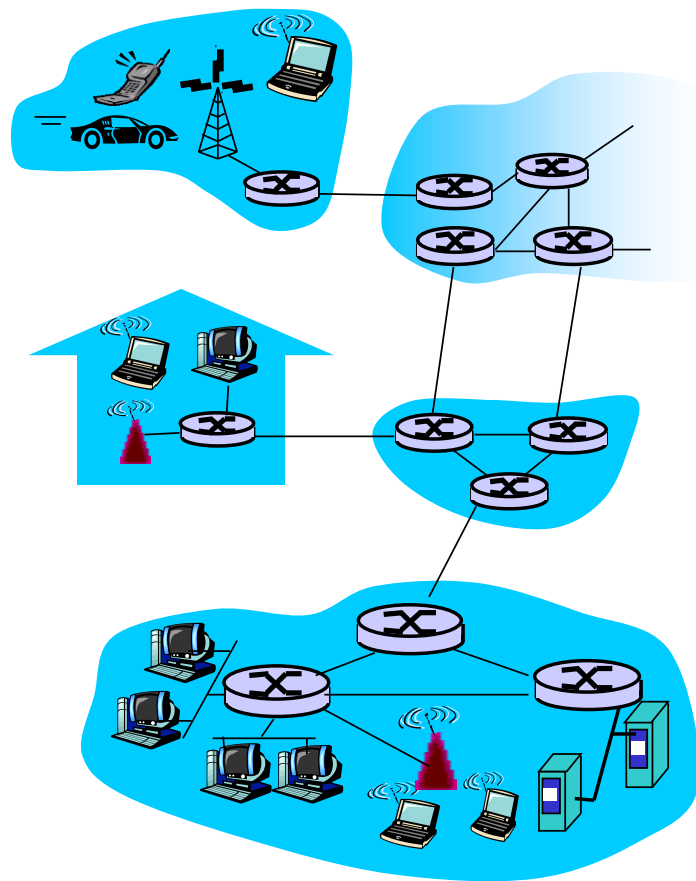
□ 接入网, 物理介质:

- ❖ 有线, 无线
- ❖ 通信链路

□ 网络核心:

- ❖ 互联的路由
- ❖ 网络的网络

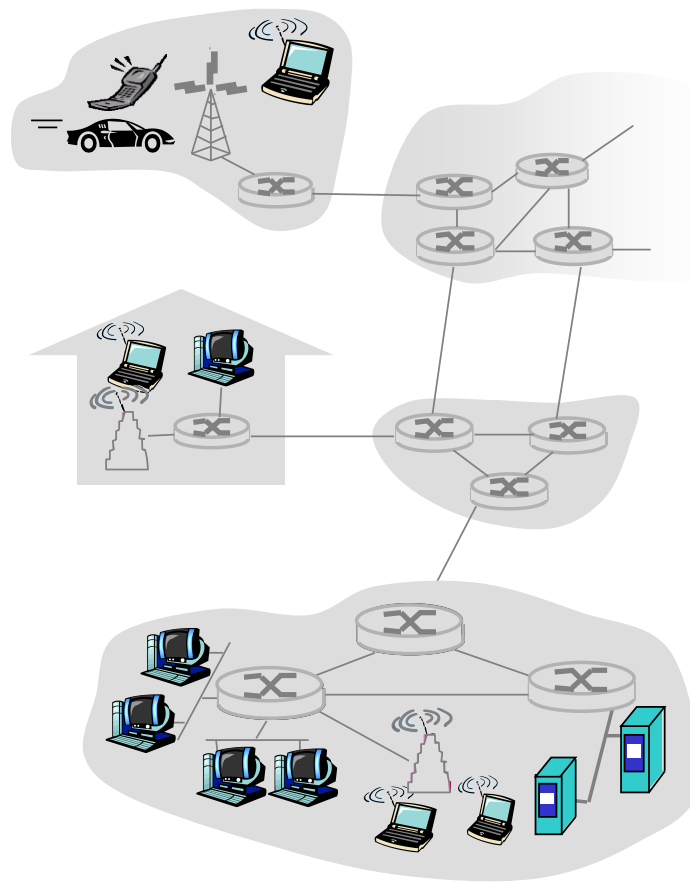
(network of networks)



网络边缘（端系统）：

□ 端系统（主机）

- ❖ 运行终端程序，在网络边缘
- ❖ e.g. Web, email
- ❖ 客户 vs 服务器
- ❖ 包括桌面计算机、服务器、移动计算机和越来越多的非传统物品等
- ❖ 2015年大约50亿台（32亿用户，接近世界人口40%），2020年大约250亿台



网络边缘（端系统通信）：

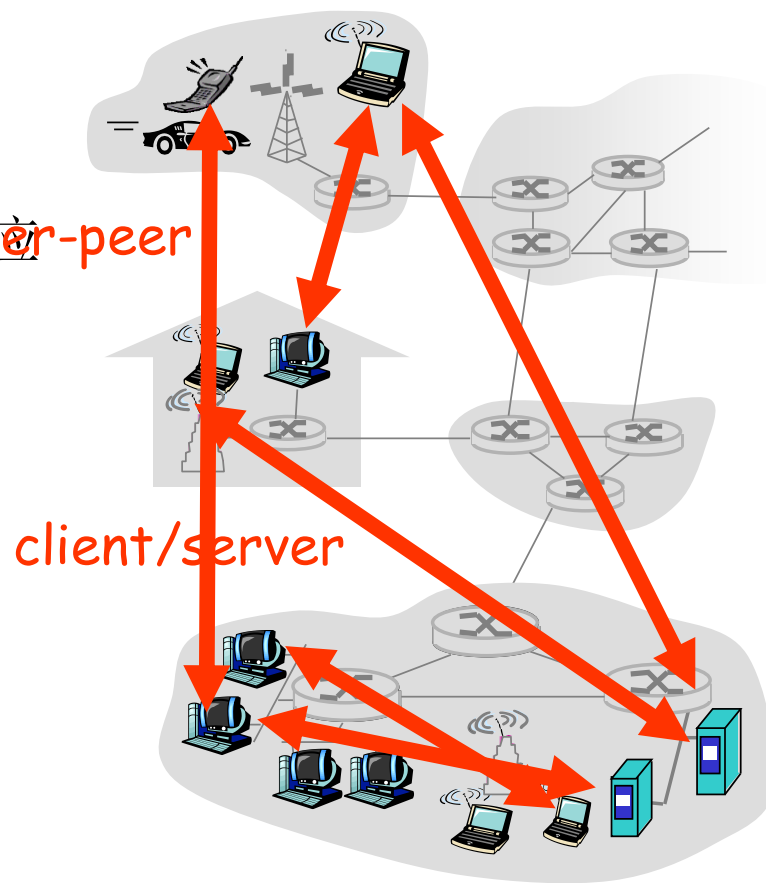
❑ 客户机/服务器模式 (client/server)

- ❖ 客户机发起请求,
- ❖ 从一直开机的服务器接收相应
- ❖ e.g. Web browser/server;
email client/server

❑ 端到端模式

❑ (peer-peer)

- ❖ 很少使用或者不使用服务器
- ❖ e.g. Skype, BitTorrent



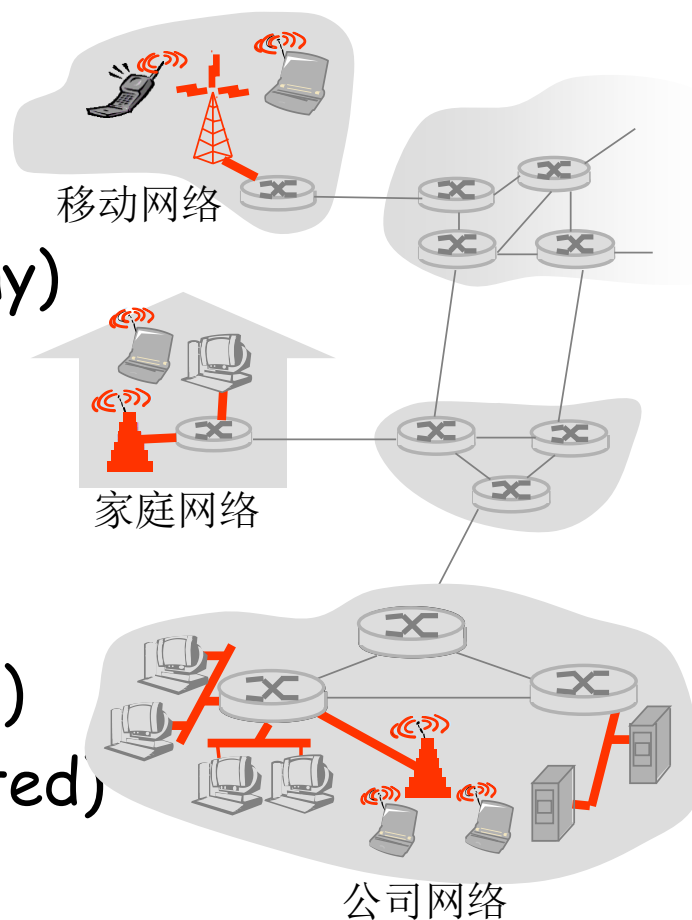
接入网

Q: 端系统如何与边缘路由连接?

- ❑ 家庭接入网络
- ❑ 企业接入网络 (school, company)
- ❑ 移动接入网络

要了解:

- ❑ 接入网的带宽(bits per second)
- ❑ 共享或专用(shared or dedicated)



家庭接入：DSL

□ 数字用户线 DSL: (Digital Subscriber Line)

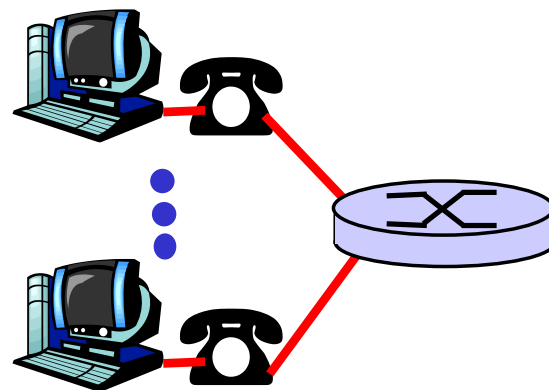
- ❖ 由电信公司部署
- ❖ 利用现有的本地电话基础设施

□ 电缆:

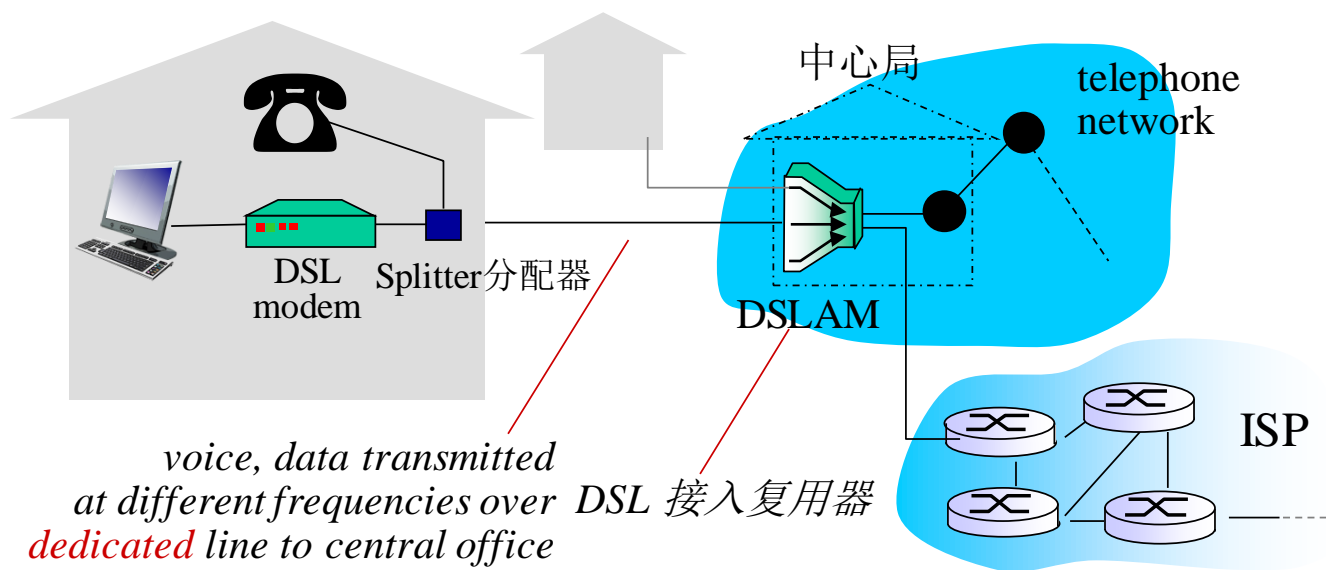
- ❖ 由有线电视公司部署
- ❖ 利用现有的有线电视基础设施

DSL网络接入

- 使用 调制解调器(modem)拨号
 - ❖ 最高至56Kbps访问速度
 - ❖ 现在已经很少使用



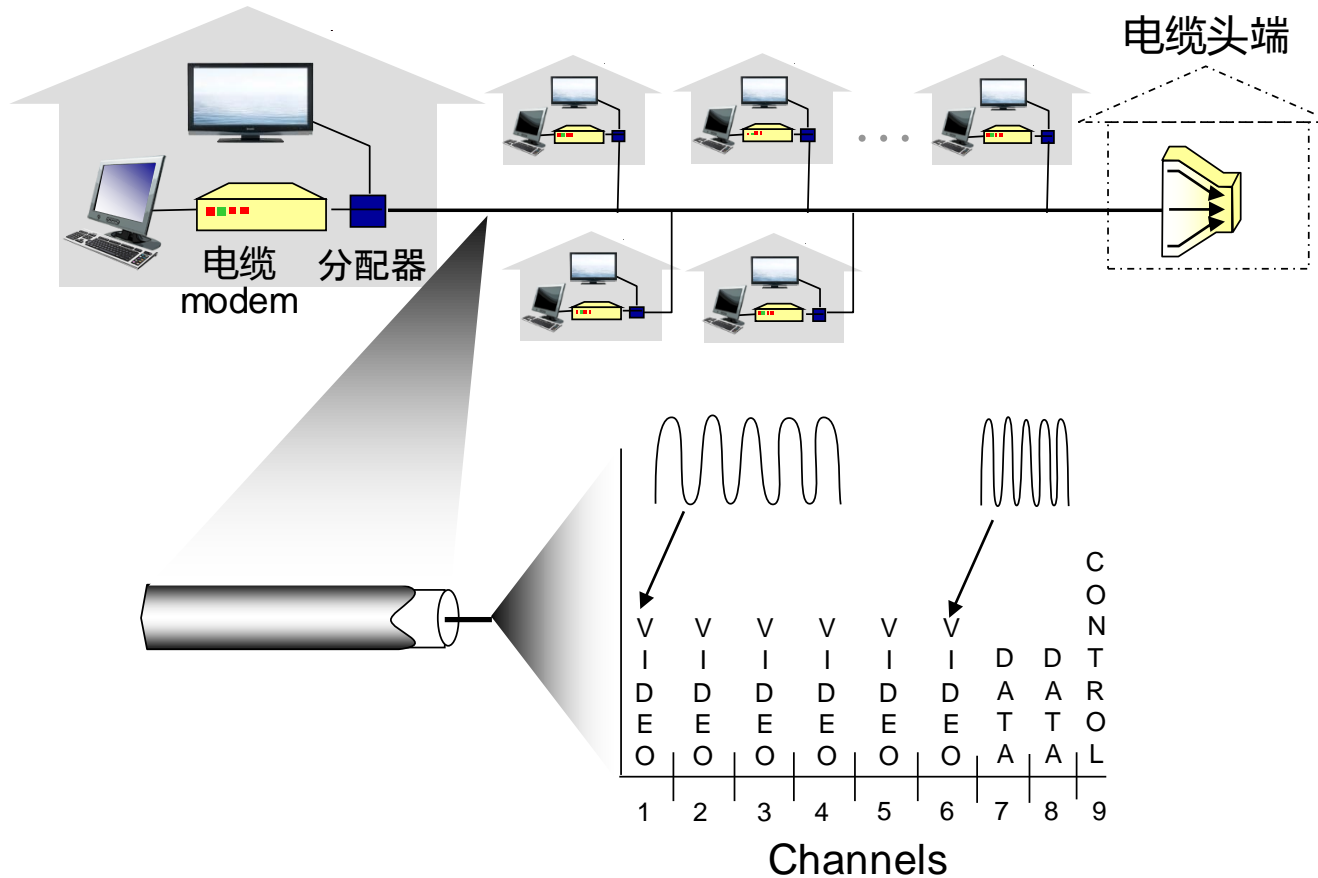
DSL网络接入



❑ 数字用户线 DSL: (Digital Subscriber Line)

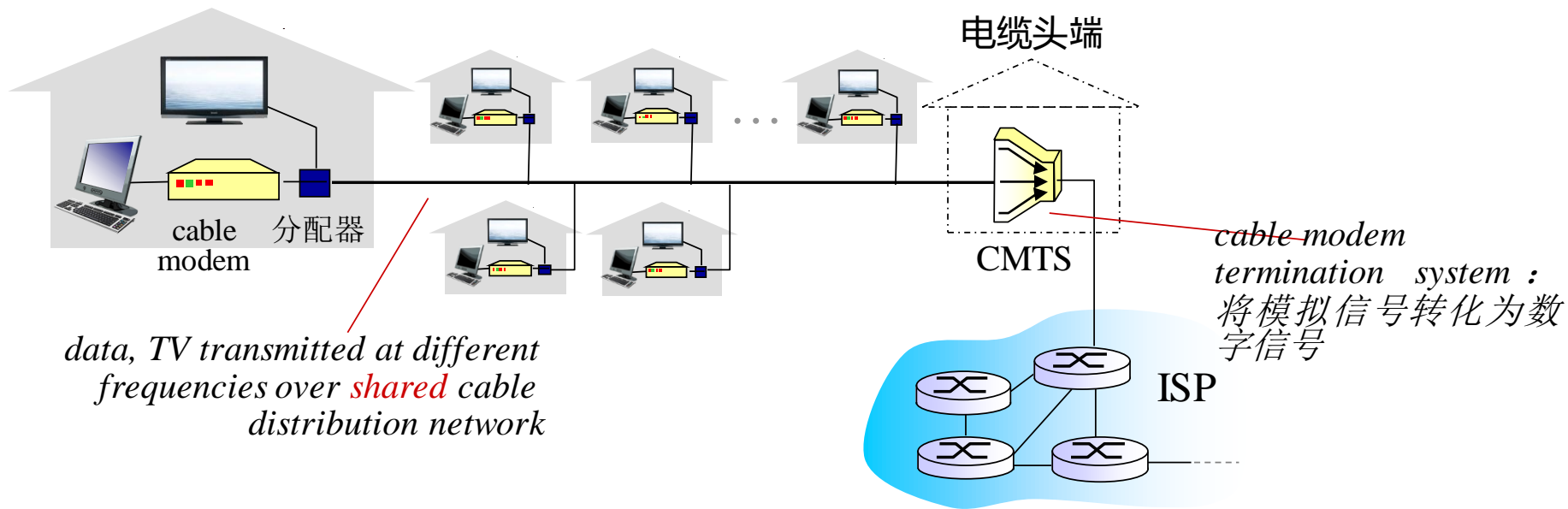
- ❖ 最高2.5 Mbps 上行 (typically < 1Mbps)
- ❖ 最高24 Mbps 下行 (typically < 10 Mbps)

电缆网络接入



频分多路复用: different channels transmitted in different frequency bands

电缆网络接入



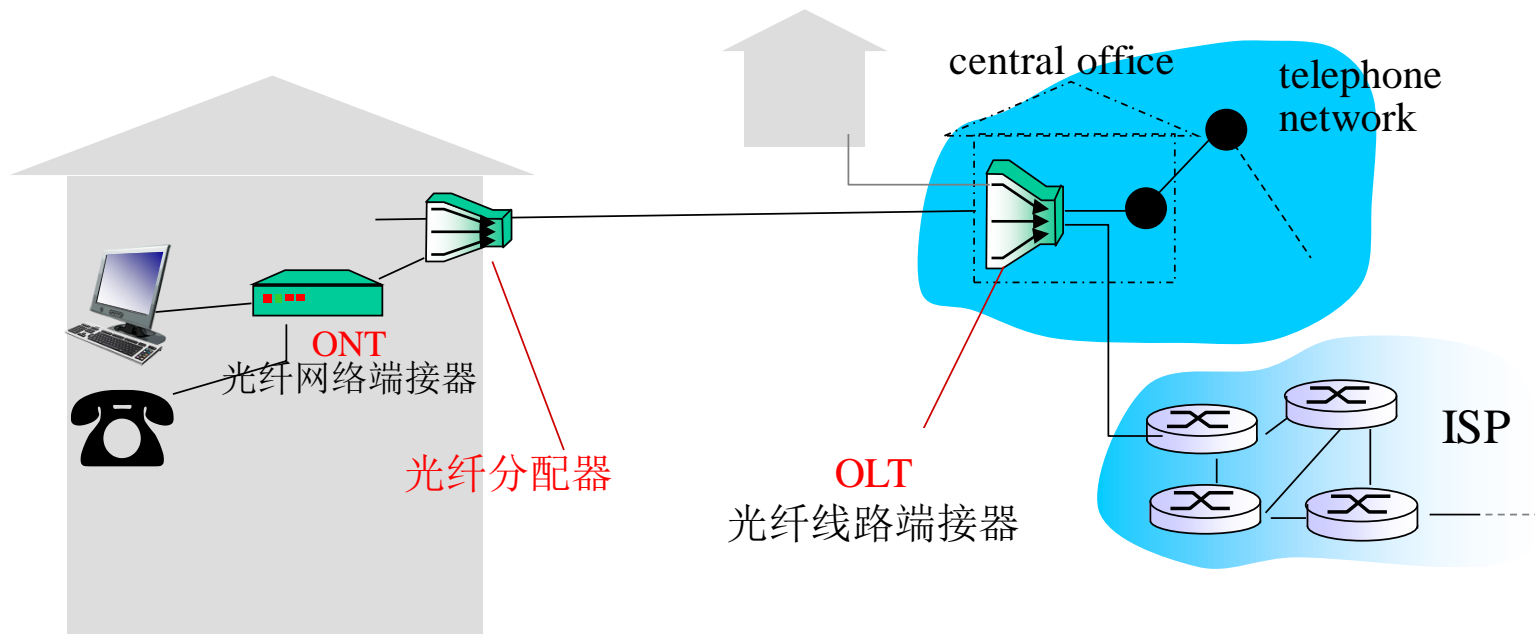
❖ HFC: (hybrid fiber coax)

- 非对称性: 最高30Mbps 下行速率, 2 Mbps 上行传输速率

❖ 线缆网络

- 多户家庭共享cable接入

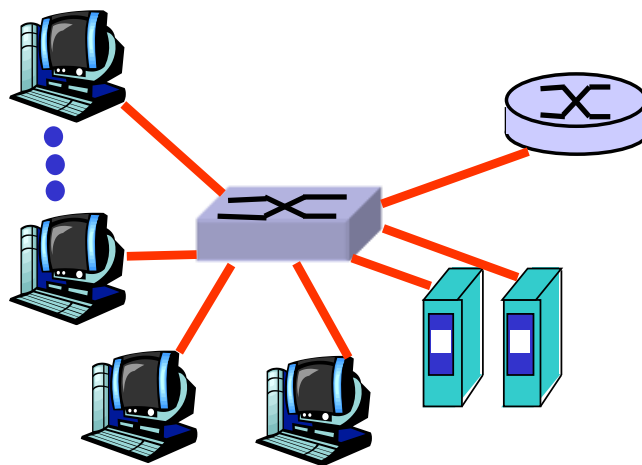
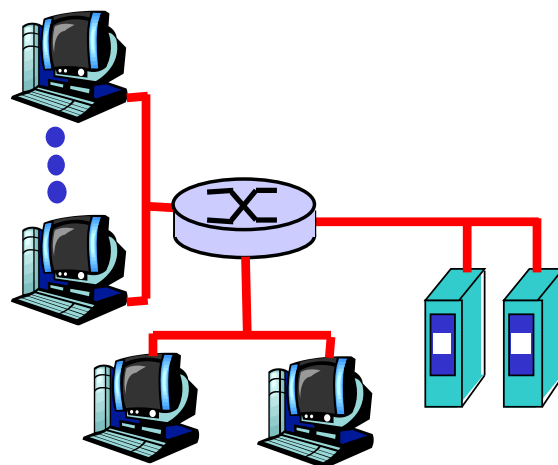
光纤到户 (Fiber To The Home: FTTH)



- ❑ 有源光网络(AON, Active Optical Network)
- ❑ 和无源光网络(PON, Passive Optical Network)
- ❑ 有潜力提供每秒千兆比特范围的因特网接入速率

公司接入：局域网(LAN,local area networks)

- ❑ 公司或者学校采用局域网接入
- ❑ 以太网(Ethernet):
 - ❖ 10 Mbs, 100Mbps, 1Gbps, 10Gbps Ethernet
 - ❖ 端系统直接接入以太网交换机
 - ❖ 第六章将详细讨论



无线接入网络

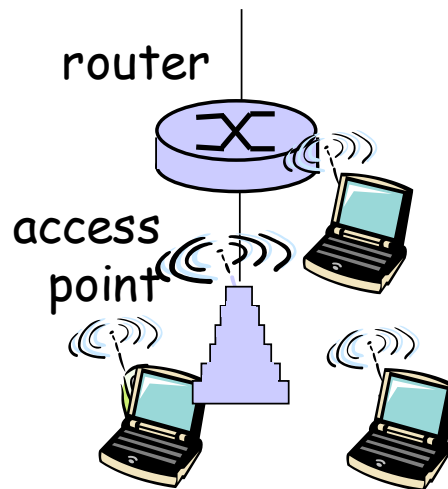
□ 共享无线接入

无线网络将端系统链接至路由

- ❖ 基站，AP(access point)

□ 无线 LANs:

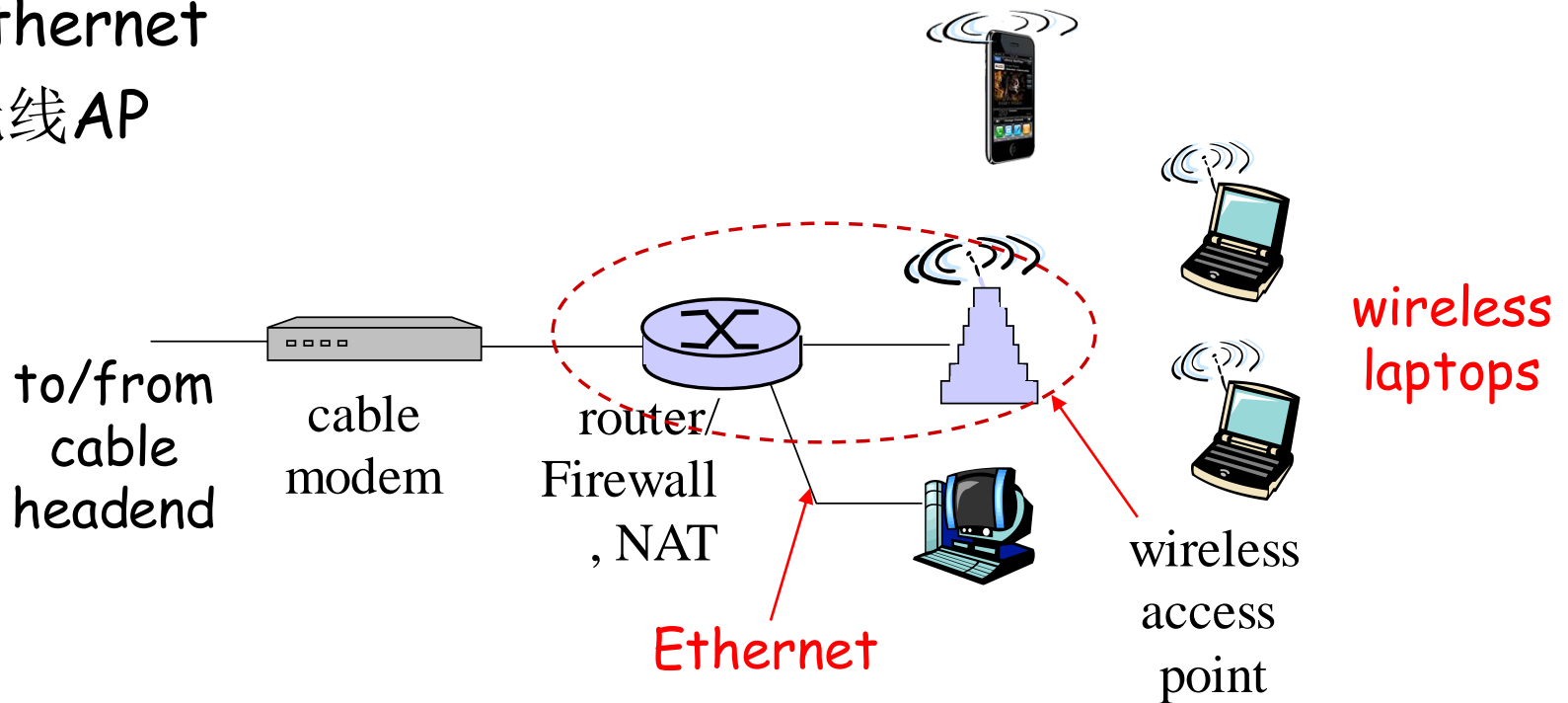
- ❖ 802.11b/g (WiFi): 11 or 54 Mbps
- ❖ 无线用户位于接入点的几十米范围内



家庭网络

典型的家庭网络构成:

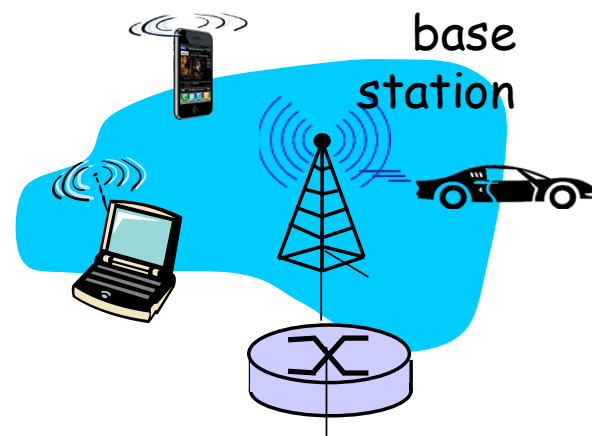
- ❑ DSL , 线缆modem
- ❑ 路由/防火墙/NAT(router/firewall/NAT)
- ❑ Ethernet
- ❑ 无线AP



广域无线接入

□ 广域无线接入

- 电信公司提供, 范围10km
- 速度1-100 Mbps
- 3G, LTE (Long-Term Evolution)
- 4G, 5G



物理介质

□ 比特(bit)传输过程:

端系统→一系列链路/路由器→
端系统

□ 物理链路:

接受和发送者之间的连接（传播
电磁波或光脉冲来发送比特）

□ 导引型媒介:

- ❖ 信号在固态介质中传播:
- ❖ 光缆, 双绞铜线, 同轴电缆

□ 非导引型媒介:

- ❖ 信号自由传播:
- ❖ 电波

双绞线(TP, Twisted Pair)

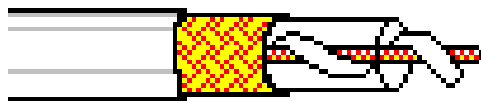
- ❖ 四对绝缘线
- ❖ Category 5:
100 Mbps, 1 Gbps Ethernet
- ❖ Category 6: 10Gbps



物理介质

同轴电缆:

- ❑ 两根同轴的铜线
- ❑ 双向
- ❑ 基带传输:
 - ❖ 单信道
 - ❖ 老式 Ethernet
- ❑ 宽带传输:
 - ❖ 多信道
 - ❖ HFC



光缆:

- ❑ 玻璃光纤, 承载光信号
 - 以bit为单位 (对应一个光脉冲)
- ❑ 高速传输:
 - ❖ 高速点对点(e.g., 10's-100's Gps)
- ❑ 错误率低
- ❑ 传输距离远
- ❑ 电磁干扰少
- ❑ 广泛用于因特网的主干



物理介质: 无线电信道

- ❑ 电磁波承载信号
- ❑ 没有物理线路
- ❑ 双向传播受环境影响:
 - ❖ 反射(reflection)
 - ❖ 受障碍物影响
(obstruction by objects)
 - ❖ 干涉(interference)

无线电链路类型 (陆地和卫星):

- ❑ 微波
 - ❖ e.g. <45 Mbps
- ❑ LAN (e.g., Wifi)
 - ❖ 11Mbps, 54 Mbps
- ❑ wide-area (e.g., cellular)
 - ❖ 3G cellular: ~ 1 Mbps
- ❑ satellite
 - ❖ Kbps ~45Mbps
 - ❖ 270 msec 端到端延迟
 - ❖ 同步、低轨卫星

Chapter 1: roadmap

1.1 什么是 Internet?

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 包交换网络中的延迟, 丢包和吞吐率

1.5 协议层次, 服务模型

1.6 网络攻击: 安全性

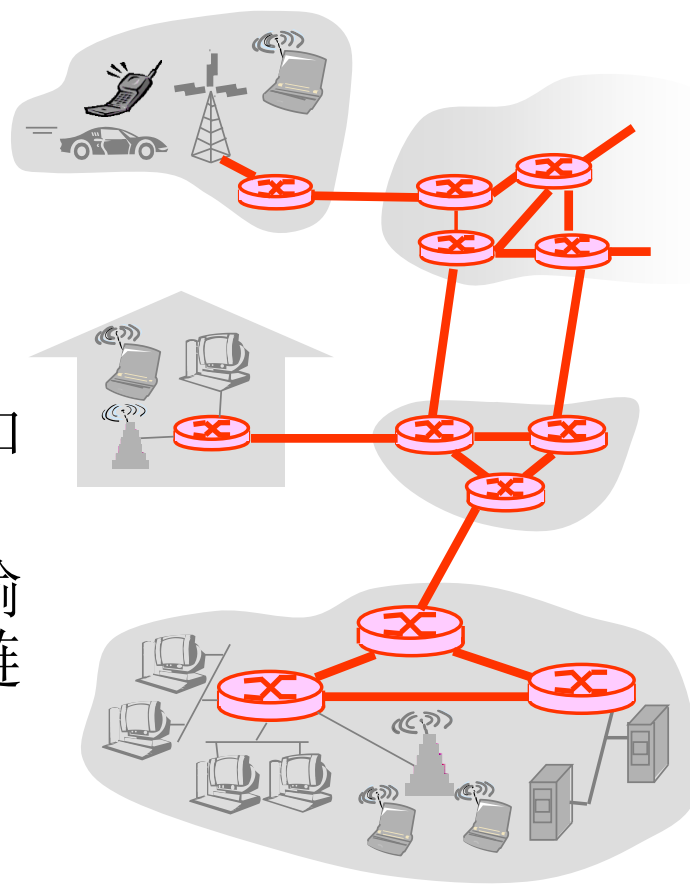
1.7 历史

网络核心

□ 路由器构成的网络

□ 分组交换

- ❖ 每个端到端数据流（报文）都划分为较小的块（分组）
- ❖ 每个分组都通过通信链路和分组交换机
- ❖ 分组以等于该链路最大传输速率的速度传输通过通信链路



网络核心：分组交换

每个端到端数据流都划分为

" packets "

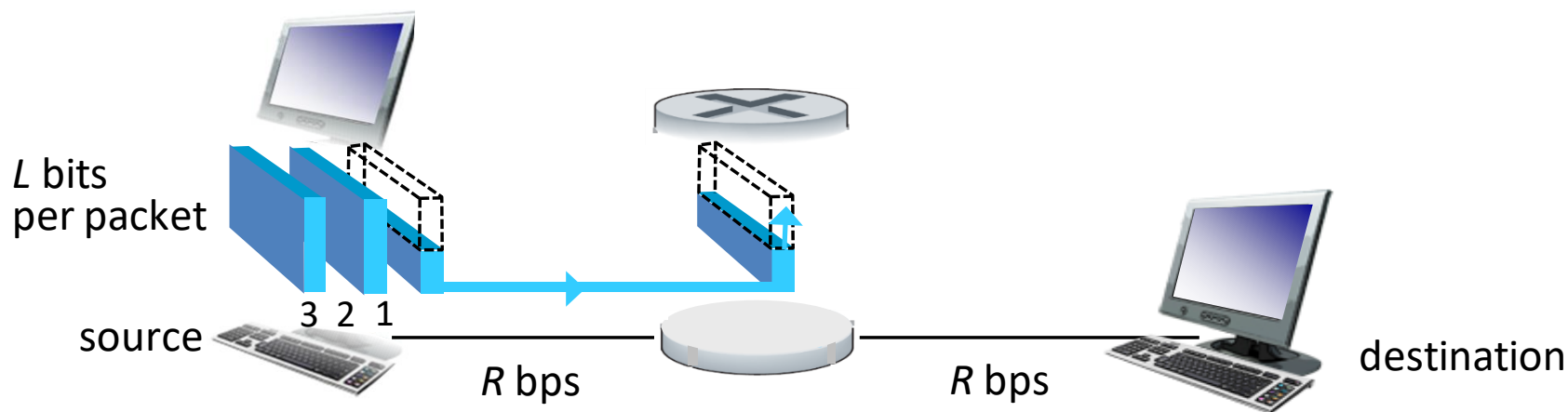
- ❑ 用户 **A, B** 的数据包共享网络资源
- ❑ 每个数据包发送时使用全部的带宽
- ❑ 资源按需分配



存在资源竞争:

- ❑ 总需求可能超过可用资源
- ❑ 存储和转发
(**store and forward**):
数据包每次移动一跳
(**hop**)
 - ❖ 节点在接收到整个数据报后才前向转发

分组交换: 存储转发

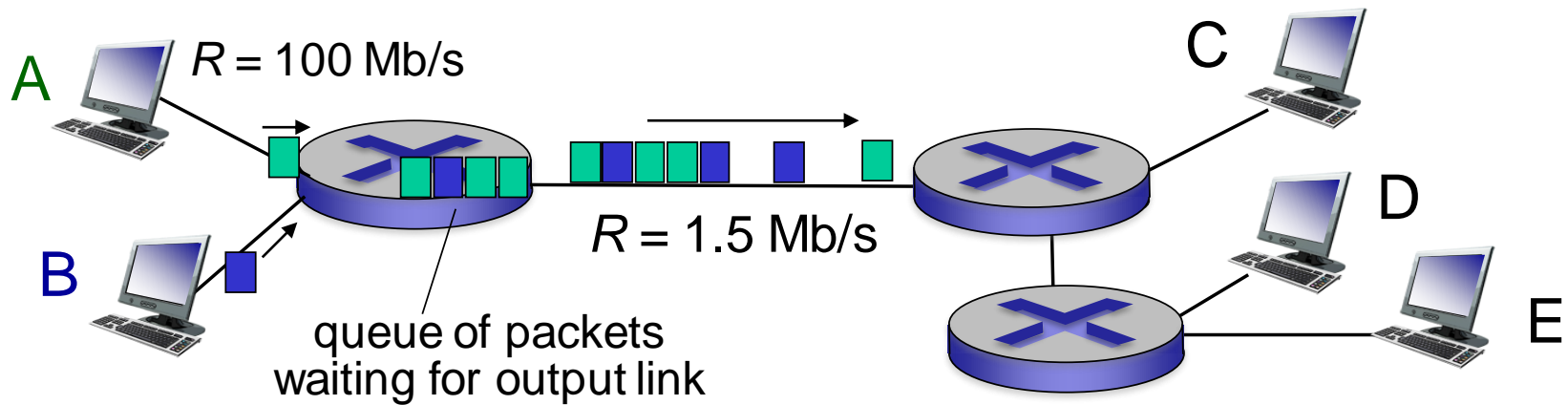


- 以速度 R bps 传送 L bits 需要 L/R 秒
- *store and forward:*
路由器在接收到整个数据报后才前向转发
- 延迟 = $3L/R$
(若传播延迟为0)

Example:

- $L = 7.5$ Mbits
- $R = 1.5$ Mbps
- 传输延迟 = 15 sec

分组交换: 排队时延和分组丢失



queuing and loss:

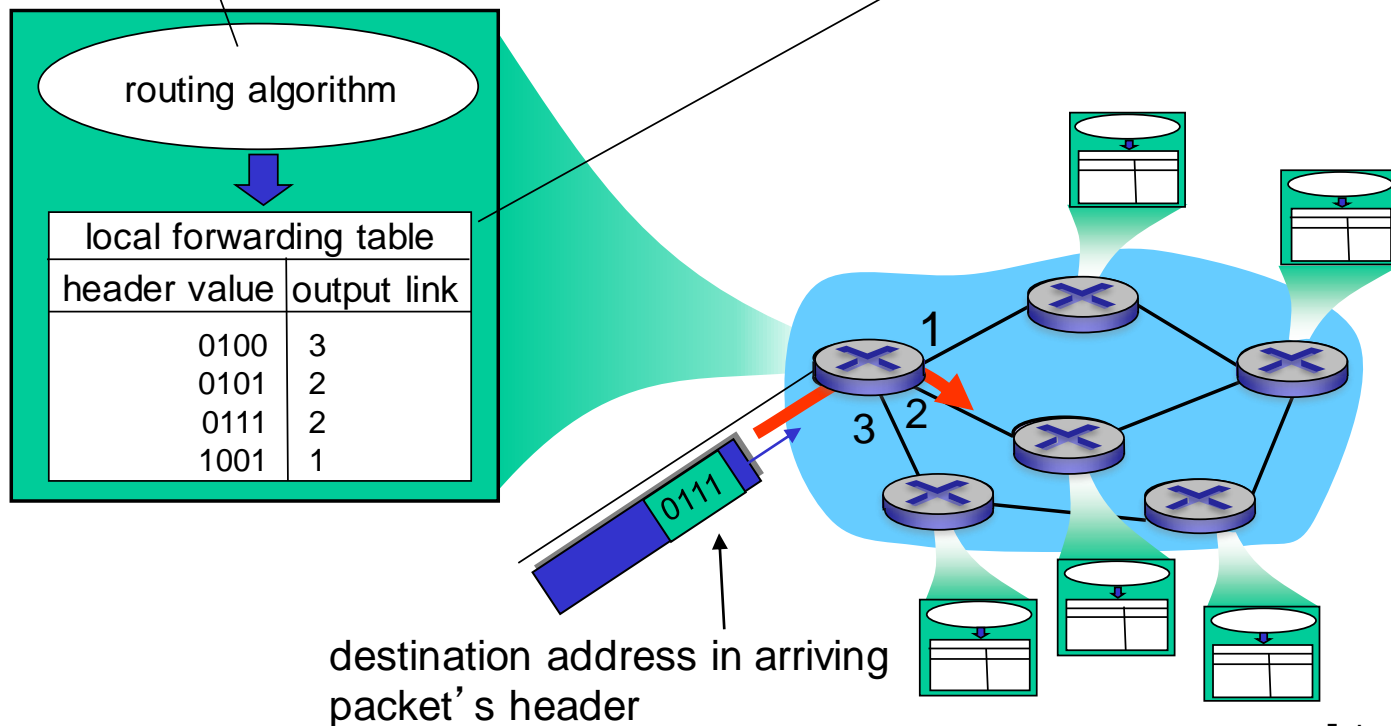
- if arrival rate (in bits) to link exceeds transmission rate of link for a period of time:
 - packets will queue, wait to be transmitted on link (排队时延)
 - packets can be dropped (lost) if memory (buffer) fills up

两个关键的网路核心功能

路由: 确定选用哪一条出链路来传播分组, 从而使其到达下一个路由 (类比驾驶员问路)

- *routing algorithms*

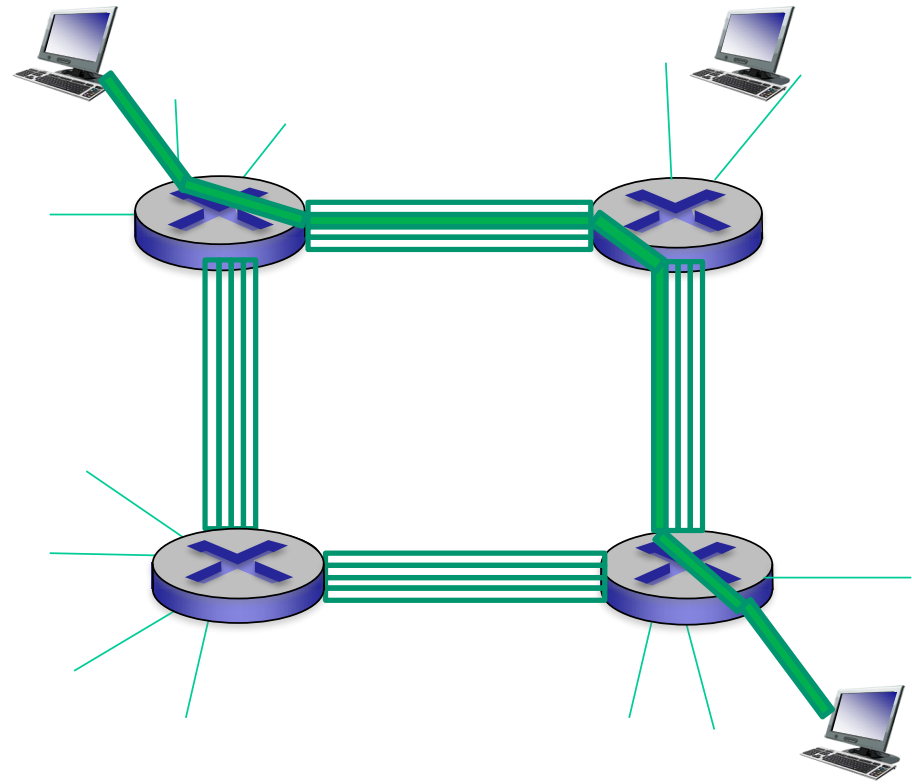
转发: move packets from router's input to appropriate router output



网络核心：电路交换

对呼叫进行端到端资源保留

- ❑ 带宽和交换容量：
- ❑ 专用资源：没有共享
- ❑ 电路级性能：
- ❑ 呼叫建立过程：
- ❑ 传统电话网络采用电路交换网络
(类比订餐)

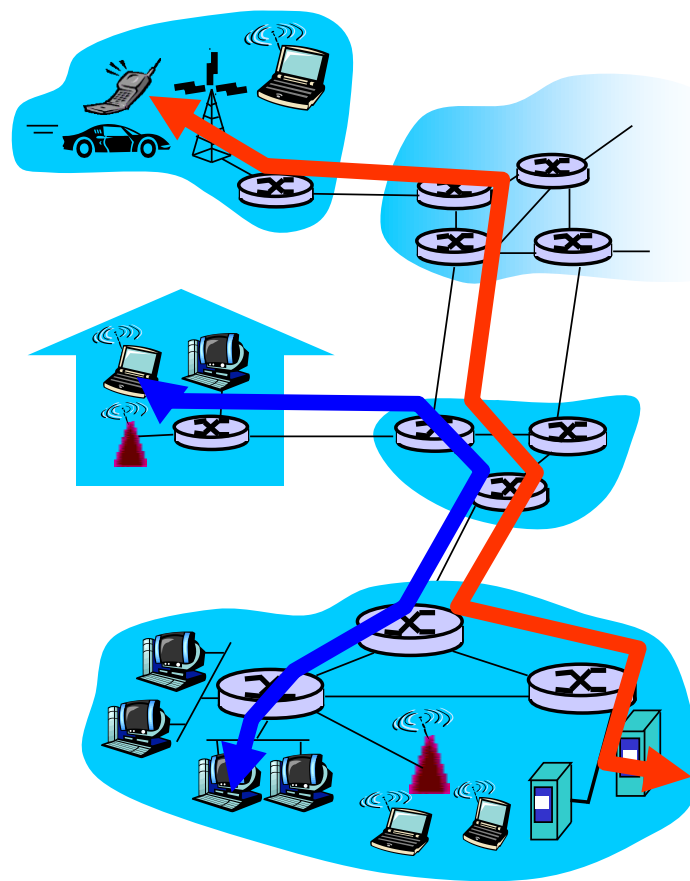


网络核心：电路交换

网络资源 (e.g., 带宽)

划分成片 "pieces"

- 每次呼叫分配若干片
- 每次呼叫分到的片若空闲，
则浪费(no sharing)
- 带宽通过复用技术分配
 - ❖ 频分复用
(frequency division)
 - ❖ 时分复用
(time division)

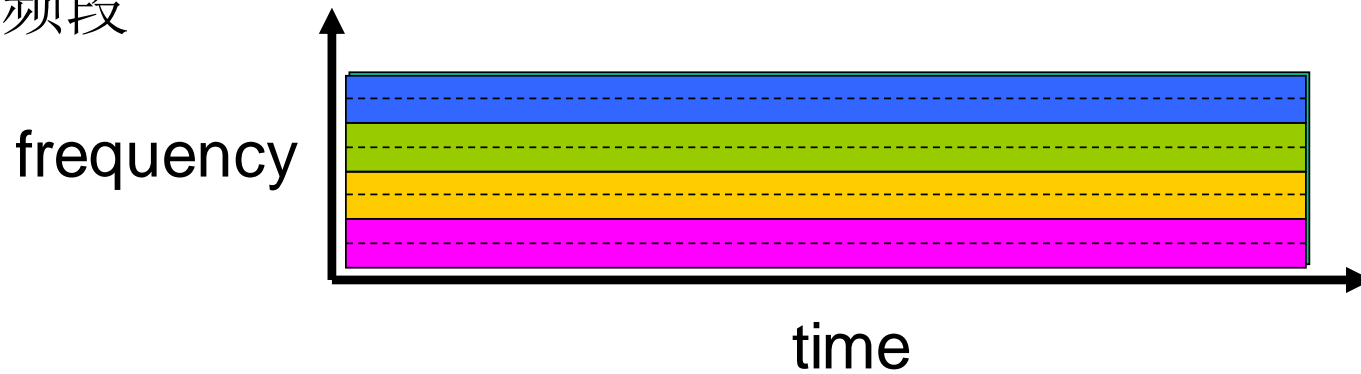


电路交换: FDM and TDM

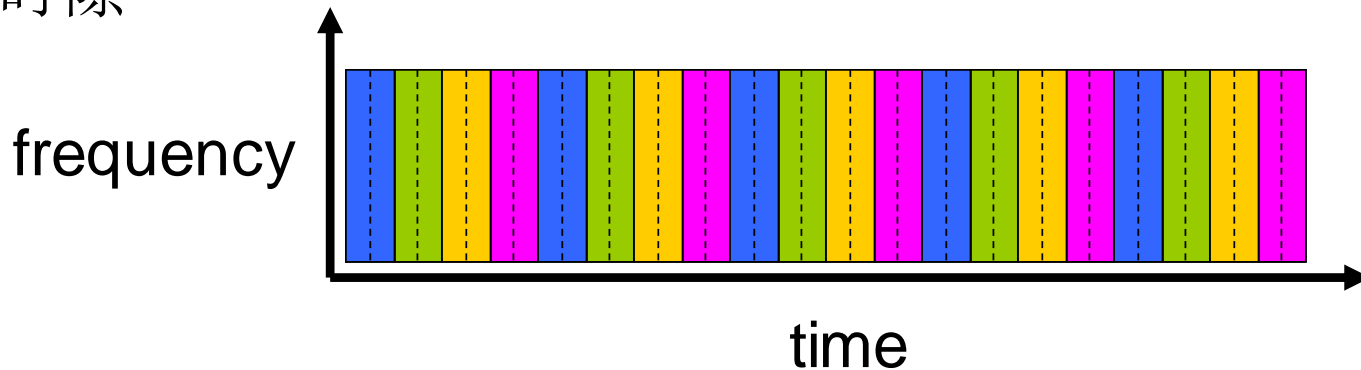
FDM（频分复用）：频域被划分为多个频段

Example:

4 users



TDM（时分复用）：时间被划分为固定期间的帧，帧又被划分为时隙



分组交换 vs. 电路交换

分组交换可以容纳更多的用户!

□ 1 Mb/s 链路

□ 每个用户:

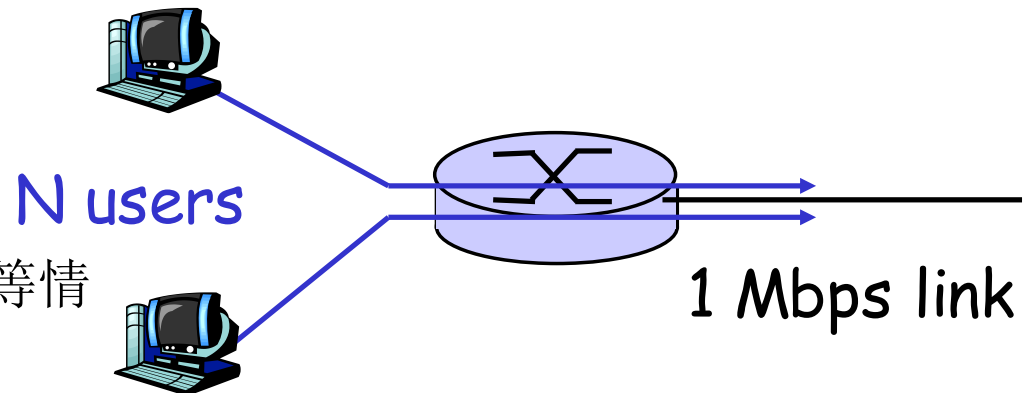
- ❖ 100 kb/s 活跃状态时速率
- ❖ 10%活跃时间

□ 电路交换:

- ❖ 10 users (均等和不均等情况)

□ 分组交换:

- ❖ 35 users,
- ❖ > 10个用户同时活跃概率为 .0004



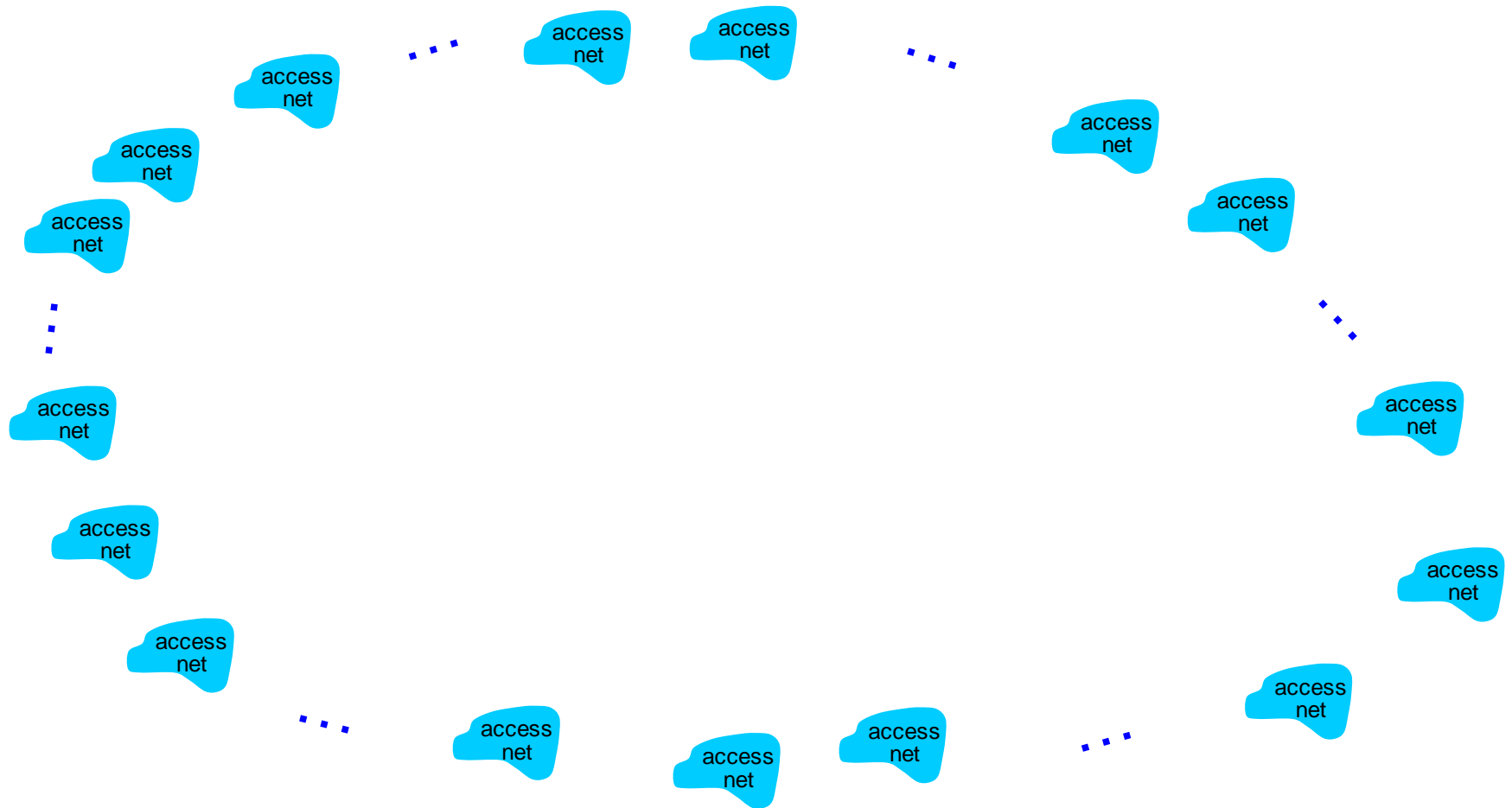
分组交换vs. 电路交换

分组交换的问题？

- 优点：对于猝发性数据有利
 - ❖ 资源共享
 - ❖ 简单，无呼叫建立过程
- 过度的拥挤：延迟或丢包
 - ❖ 需要专门协议处理可靠通信, 拥塞控制
- Q: 如何提供电路级的服务？
 - ❖ audio/video 需要带宽保证
 - ❖ 是一个没有解决的问题 (chapter 7)

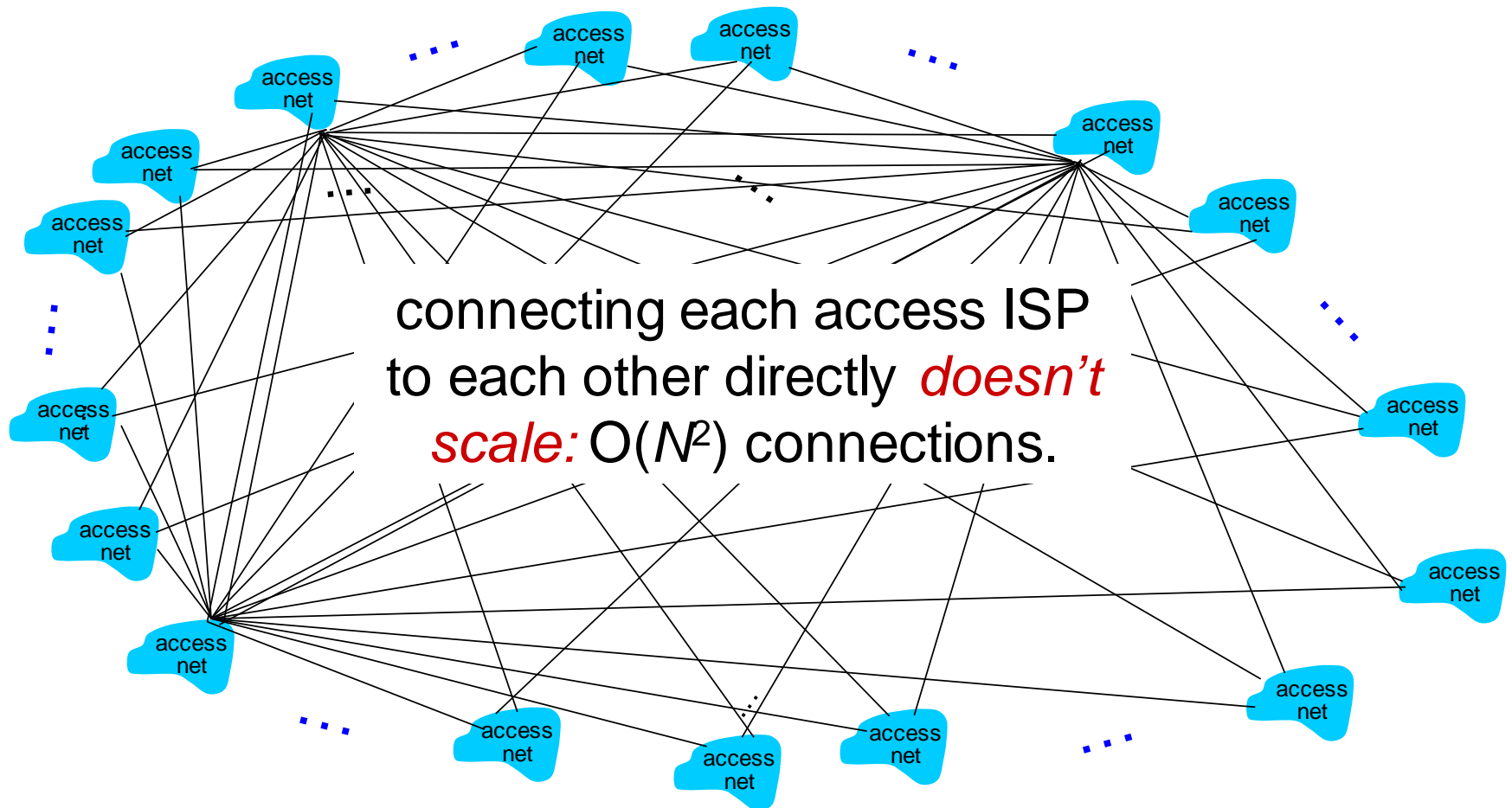
Internet 架构: 网络的网络

Question: given millions of access ISPs, how to connect them together?



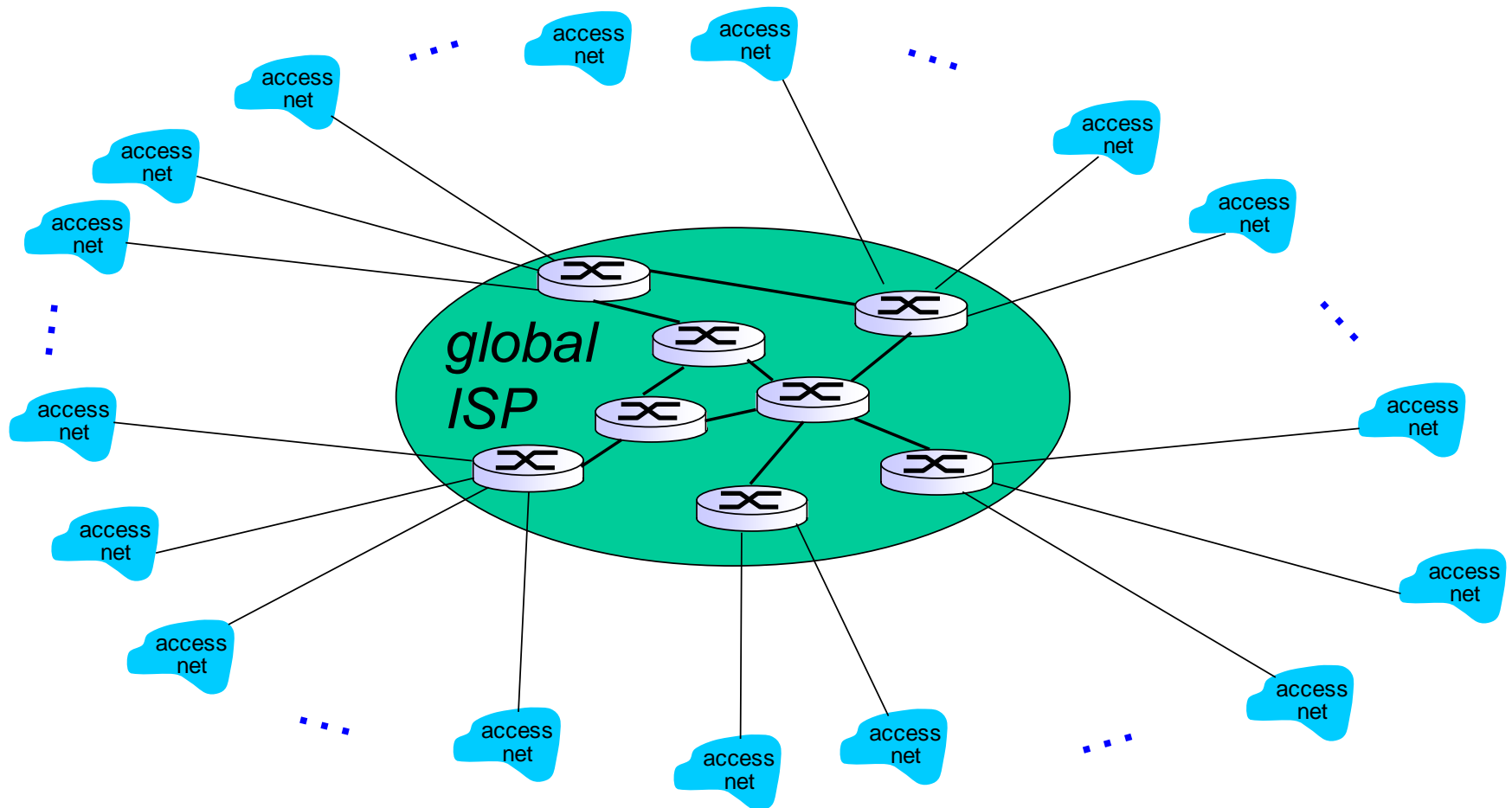
Internet 架构: 网络的网络

Option: connect each access ISP to every other access ISP?



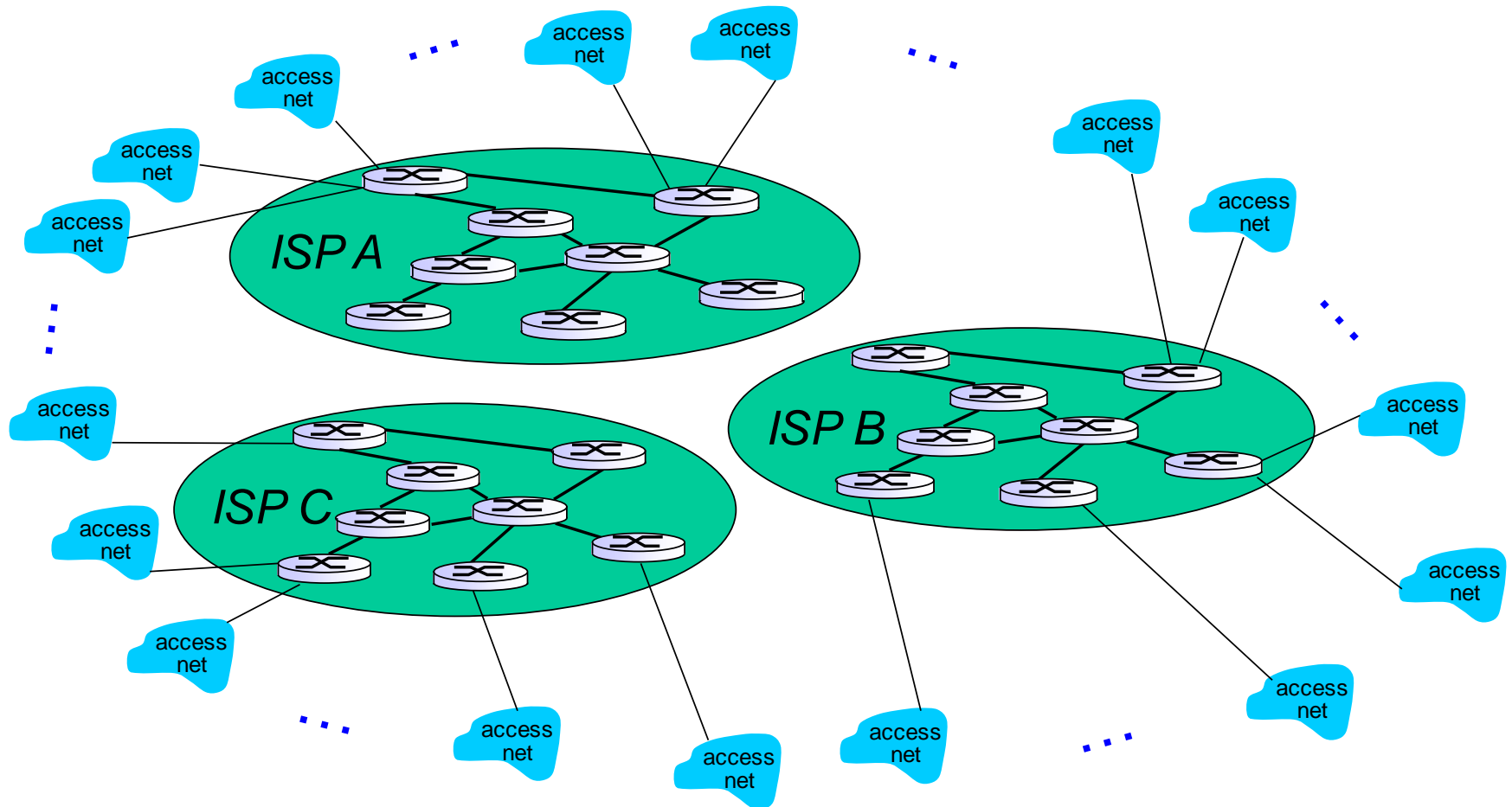
Internet 架构: 网络的网络

Option: connect each access ISP to a global transit ISP? Customer and provider ISPs have economic agreement.



Internet 架构: 网络的网络

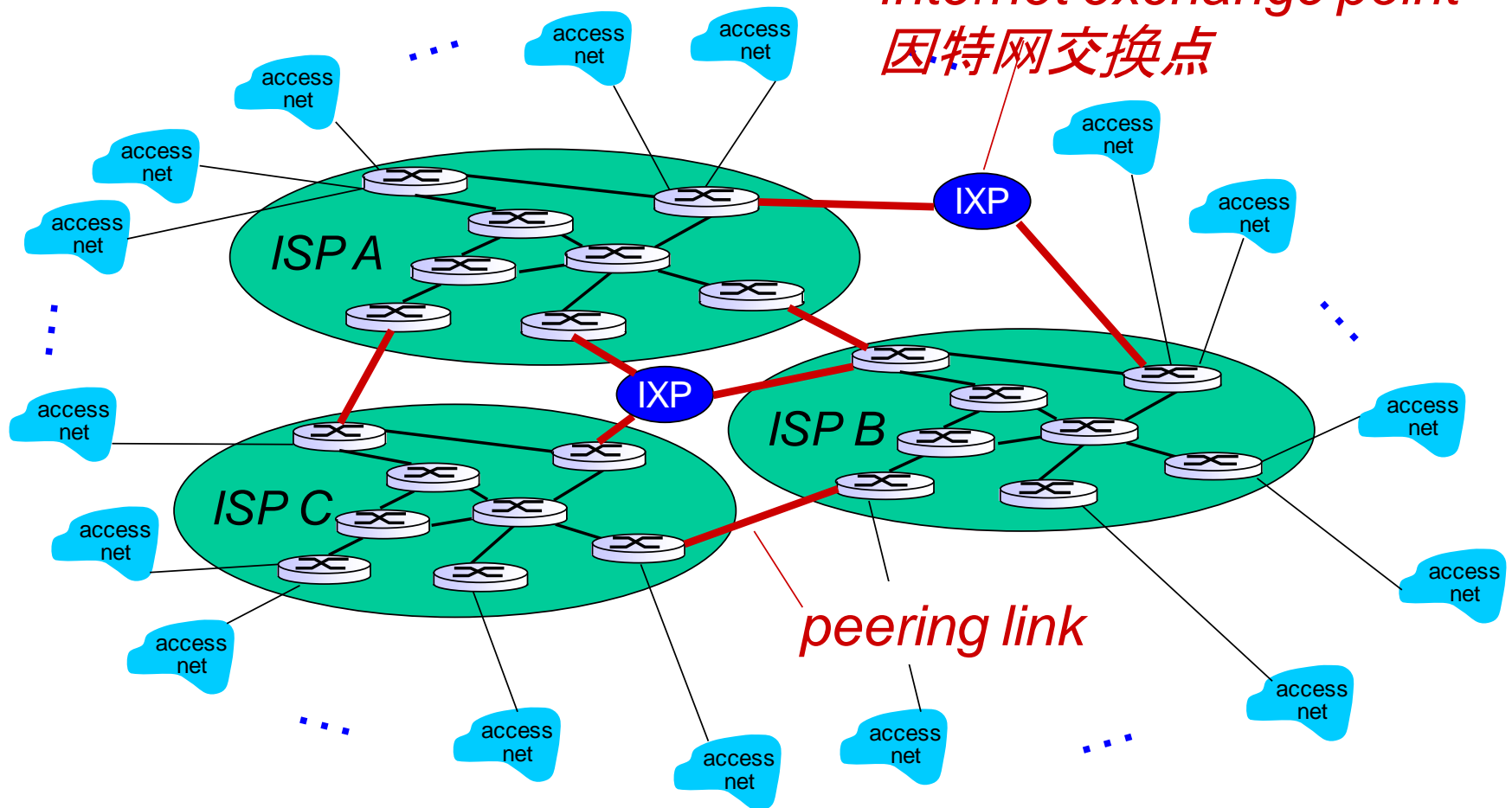
But if one global ISP is viable business, there will be competitors



Internet 架构: 网络的网络

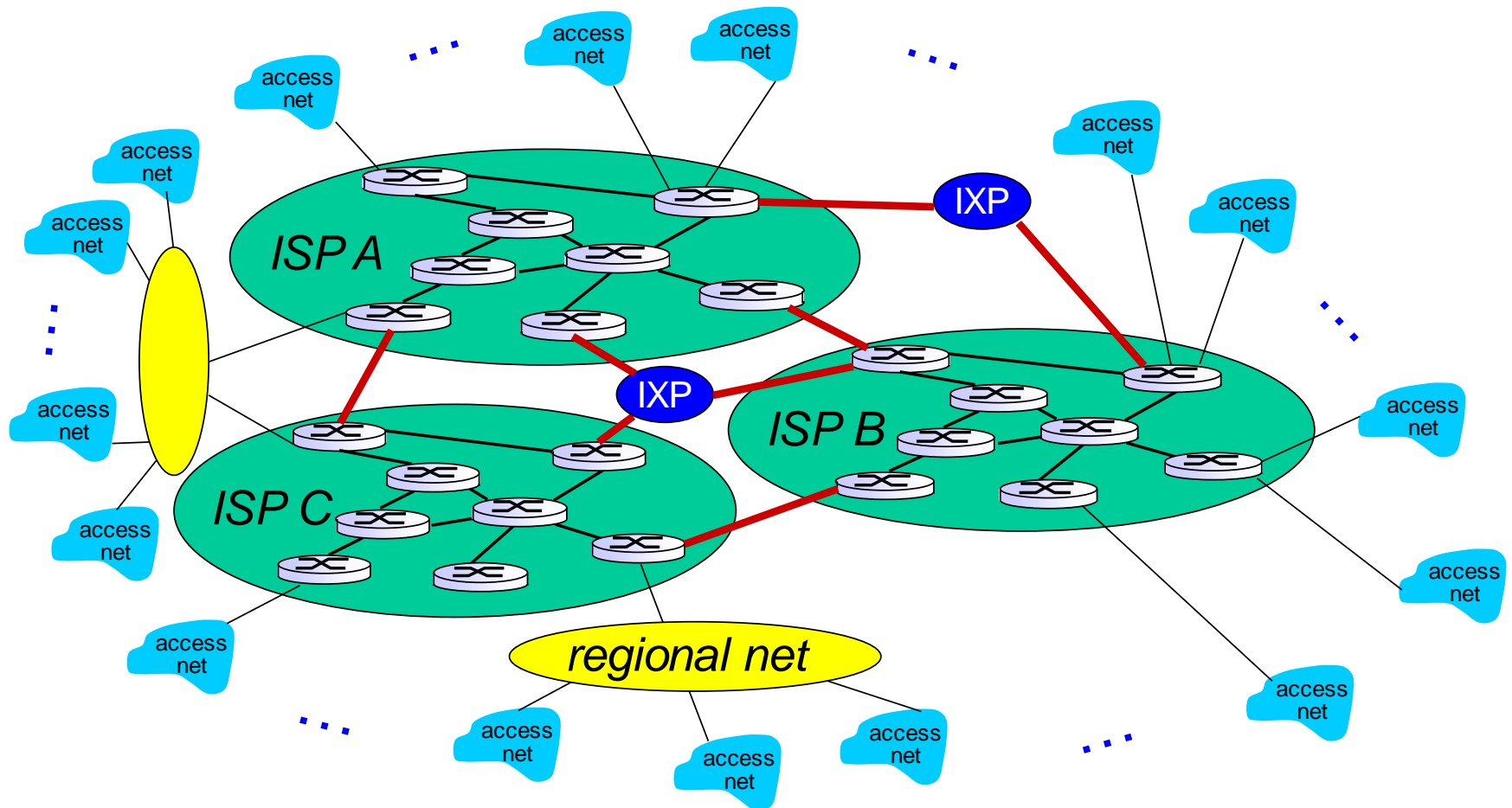
But if one global ISP is viable business, there will be competitors which must be interconnected

Internet exchange point
因特网交换点



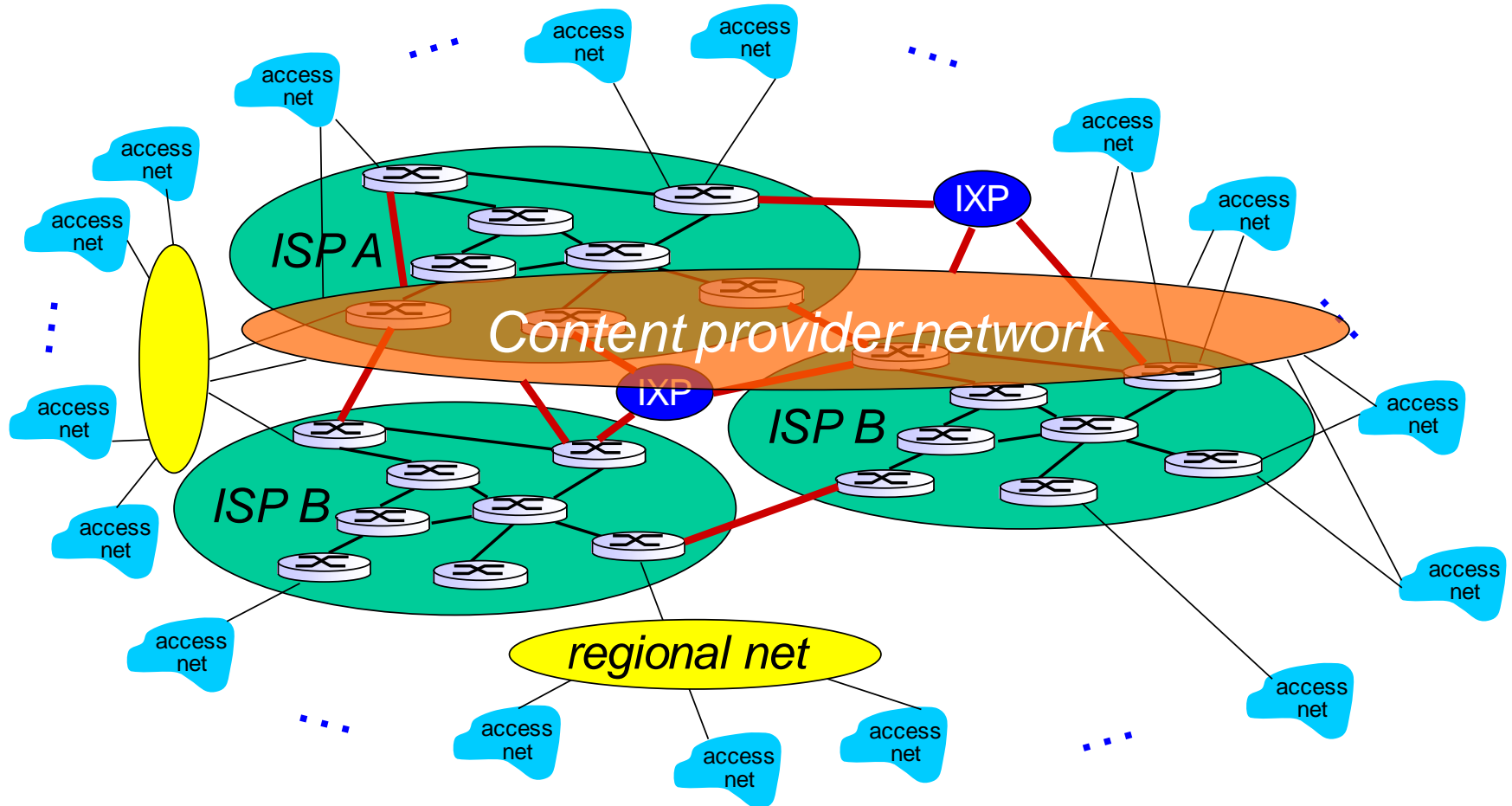
Internet 架构: 网络的网络

... and regional networks may arise to connect access nets to ISPS



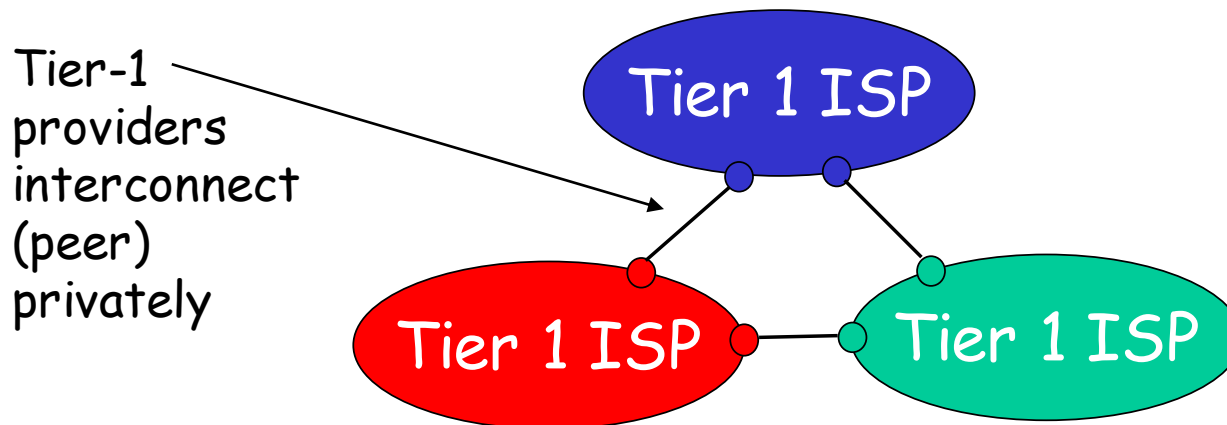
Internet 架构: 网络的网络

... and content provider networks (e.g., Google, Microsoft, Akamai) may run their own network, to bring services, content close to end users



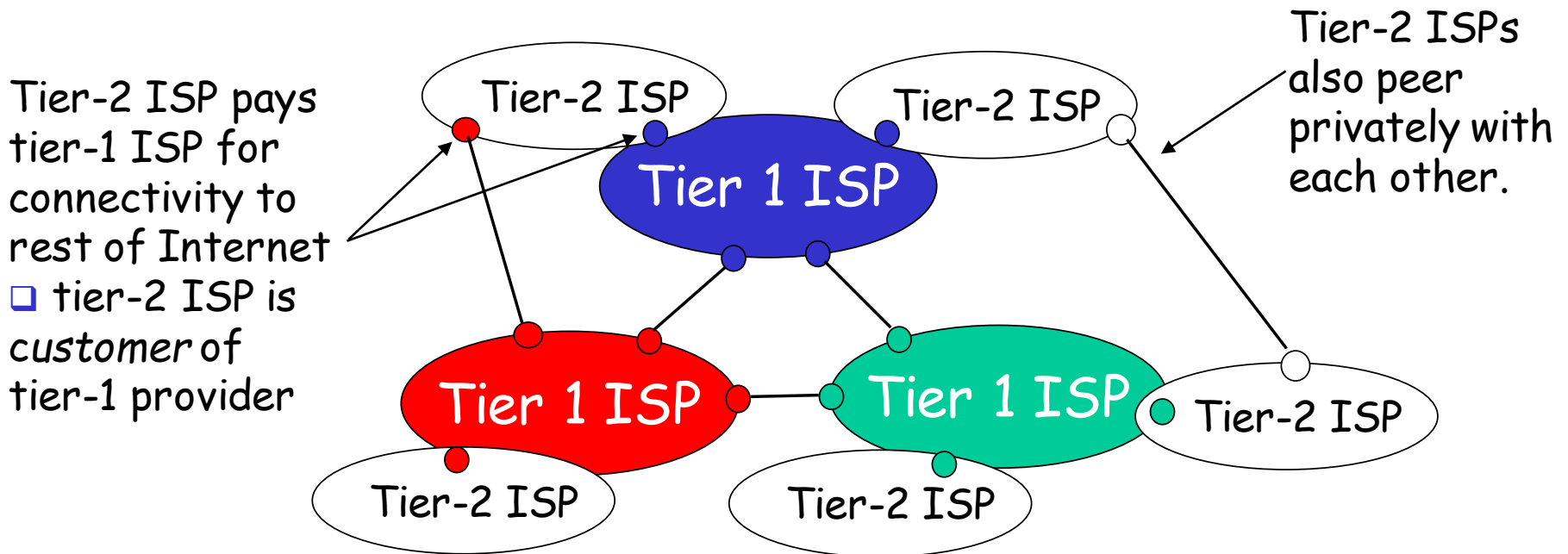
Internet 架构: 网络的网络

- 层次化架构
- 核心: "tier-1" ISPs
- (e.g., Verizon, Sprint, AT&T, Cable and Wireless)
 - ❖ 国家/国际性覆盖
 - ❖ 无相平等



Internet 架构: 网络的网络

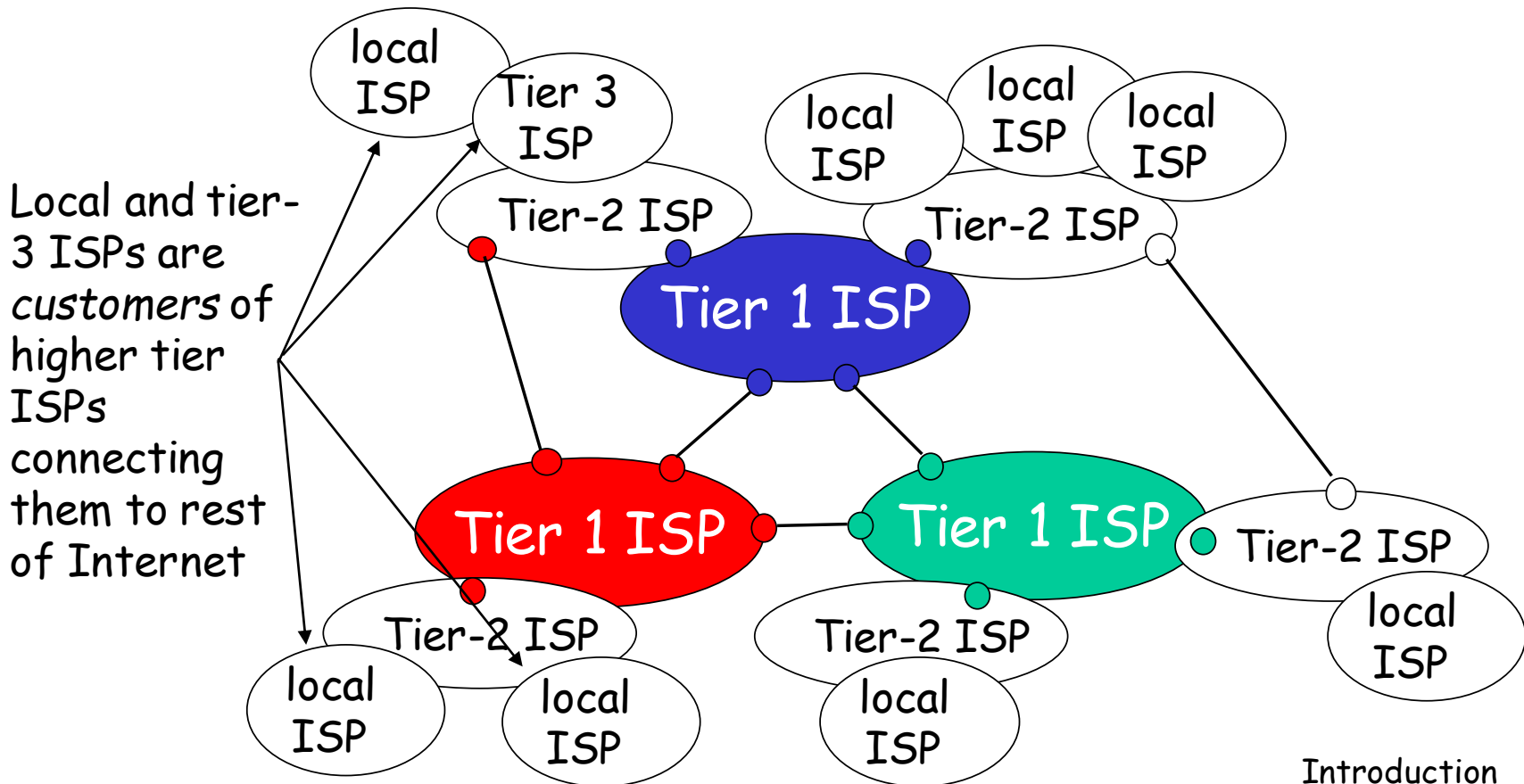
- “Tier-2” ISPs: 较小 ISPs(通常是地区性)
 - ❖ 与tier-1 ISPs相连, 有时tier-2 ISPs之间也会相连



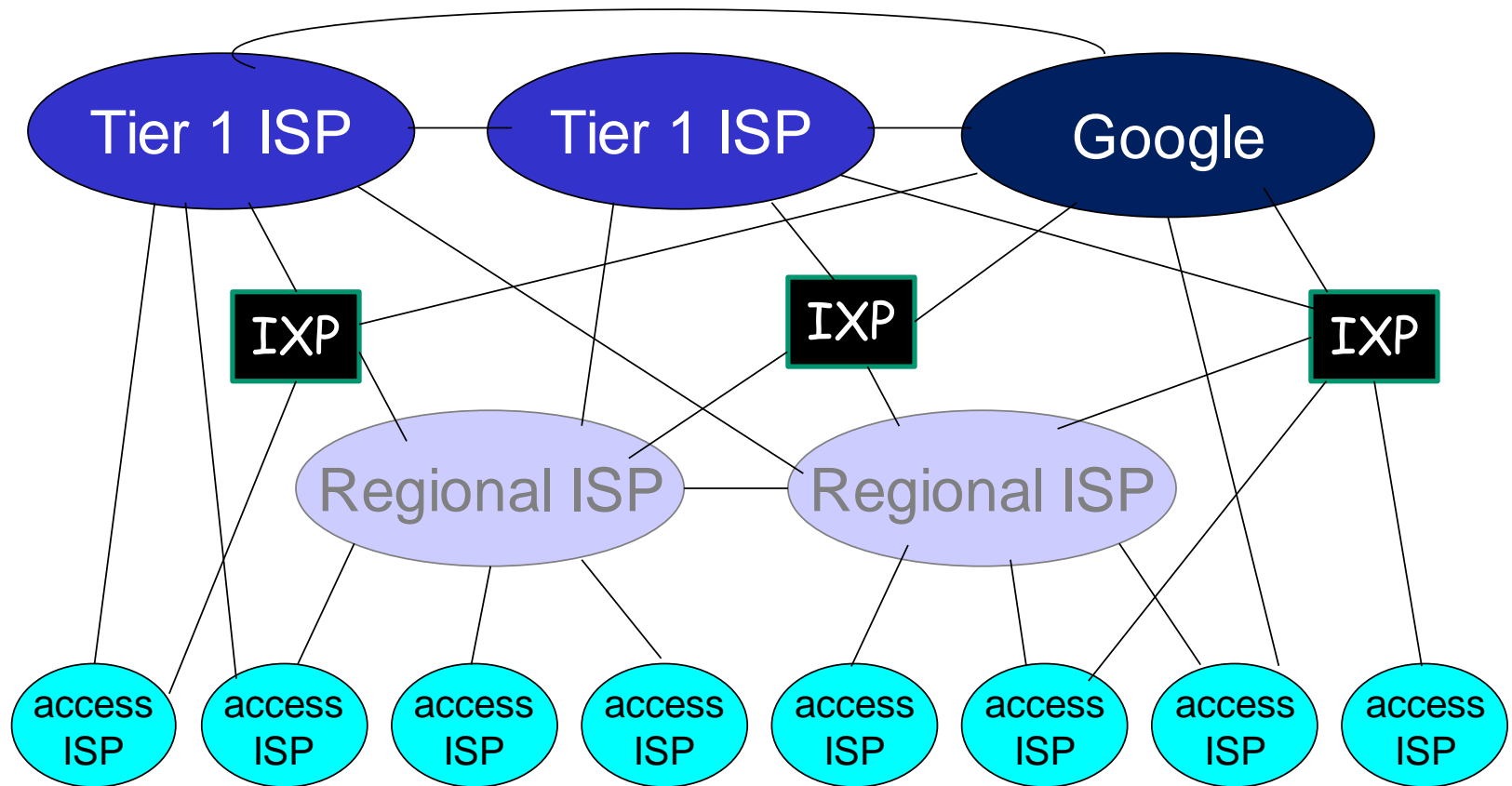
Internet 架构: 网络的网络

❑ “Tier-3” ISPs and 本地ISPs

❖ 最后一跳网络(“access network”), 与用户相连



Internet 架构: 网络的网络



- ❖ “tier-1” commercial ISPs (e.g., Level 3, Sprint, AT&T, NTT)
- ❖ content provider network (e.g, Google):

将自己的数据中心与Internet互联, 绕过tier-1, regional ISPs

Internet 架构: 网络的网络

□ 一个通过网络的数据报!

