

# 计算机网络

## 第1章 计算机网络和因特网

# 目 录

- 什么是因特网
- 网络边缘
- 网络核心
- 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量
- 协议层次及其服务模型
- 面对攻击的网络
- 计算机网络和因特网的历史

# 1.1 什么是因特网——因特网的构成

- 连接在因特网上的数以百万计的互连计算机设备：

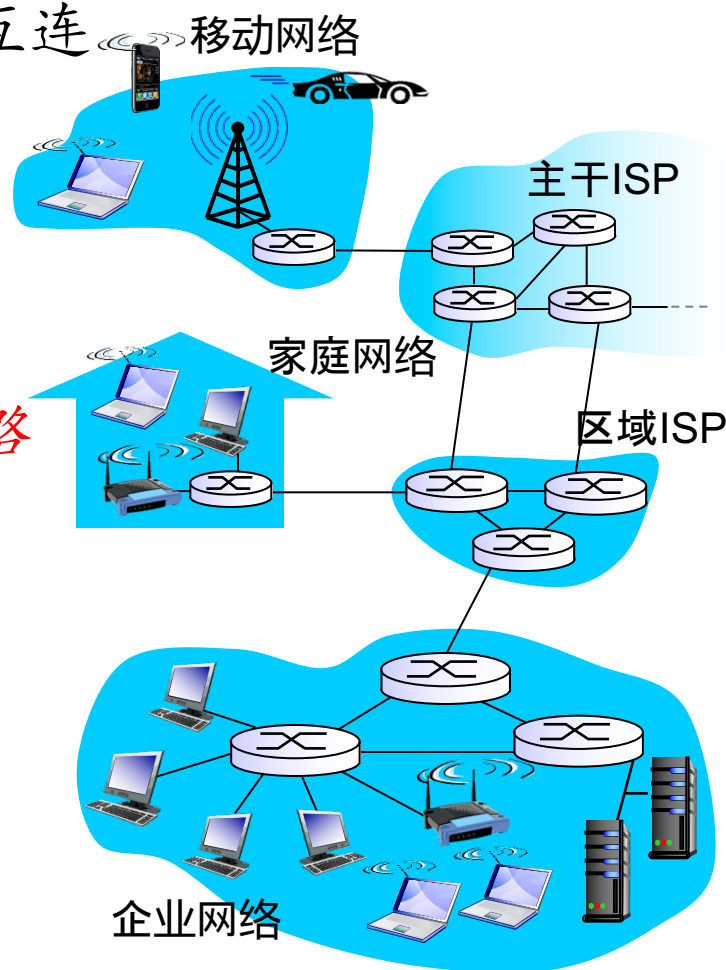
- 主机 = 端系统
- 运行网络应用程序

- 连接因特网上各种设备的通信链路

- 光纤，铜缆，无线电，人造卫星
- 传输速率 = 带宽 (*bits/second*)

- 转发分组(数据块)的分组交换机

- 链路层交换机
- 路由器



# 1.1 什么是因特网——因特网的构成

## ■ 端系统接入Internet

- 因特网服务提供商ISP

## ■ Internet: “万网之网”

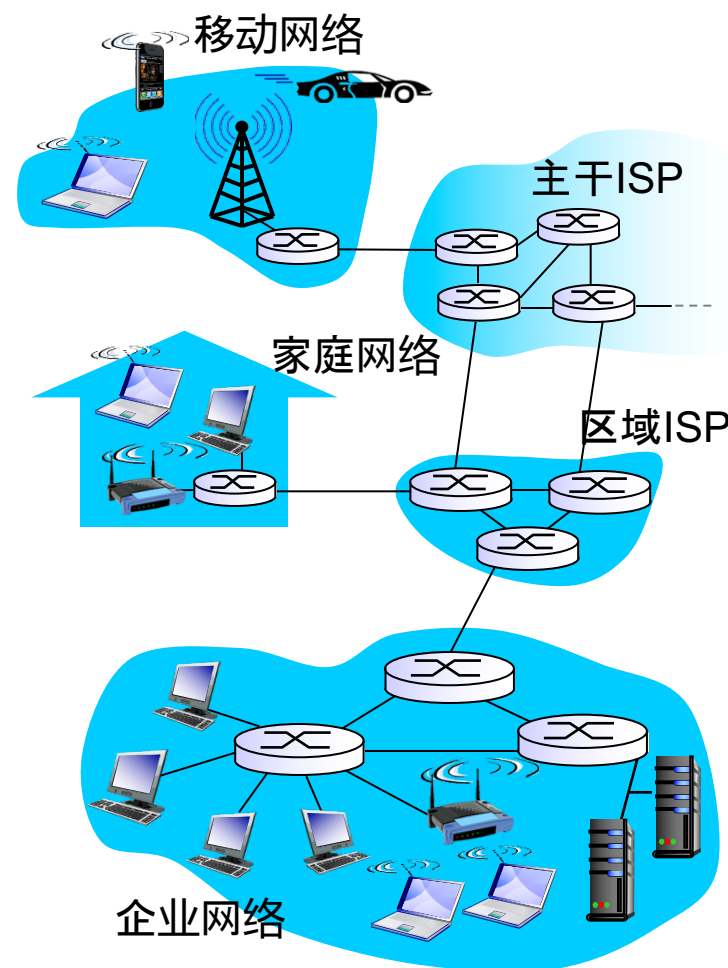
- 相互连接的ISPs

## ■ 协议 控制因特网中信息的接收和发送

- TCP、IP、HTTP、Skype、802.11

## ■ 因特网标准

- RFC: Request for comments



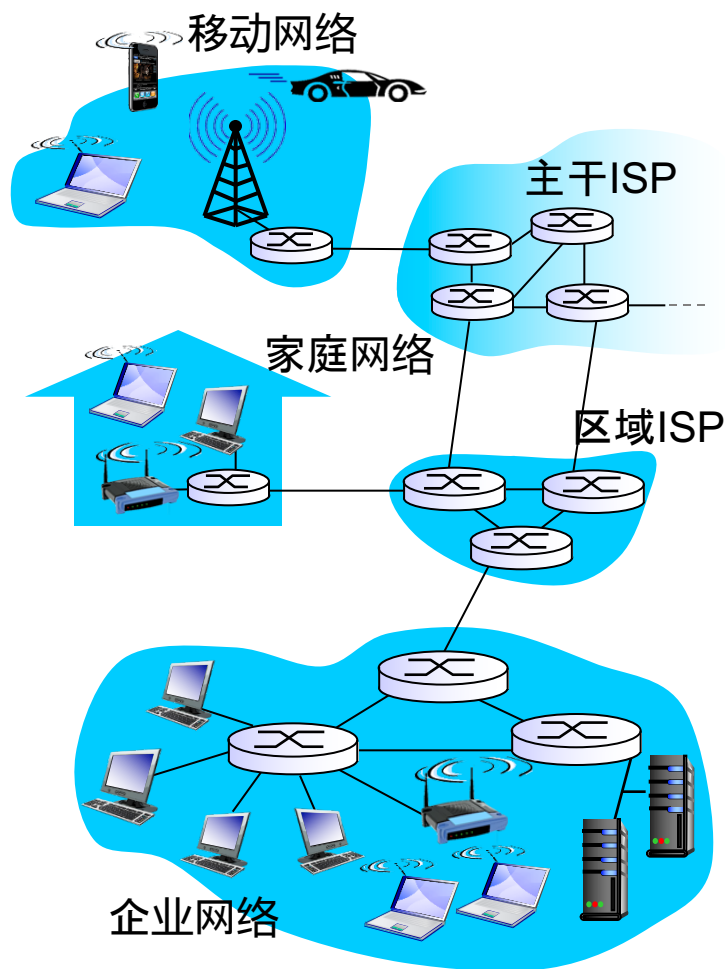
# 1.1 什么是因特网——服务视角

## ■ 向应用程序提供服务的基础设施

- 网页浏览、VoIP、电子邮件、游戏、电子商务、社交网络、...
- NC、云服务

## ■ 向应用程序提供编程接口

- 允许应用程序连接到因特网上的钩子
- 提供不同级别的服务可选项：类似于电话服务和邮政服务



# 1.1 什么是因特网——什么是协议

## □ 人类之间交流的语言（协议）

- 汉语

- 英语

- ... 指定信息接收者

- 法语

- ... 指定接收者收到消息后的动作或者其它事件

- .....

## □ 计算机之间交流的语言（协议）

- 语法

- ... 定义消息格式

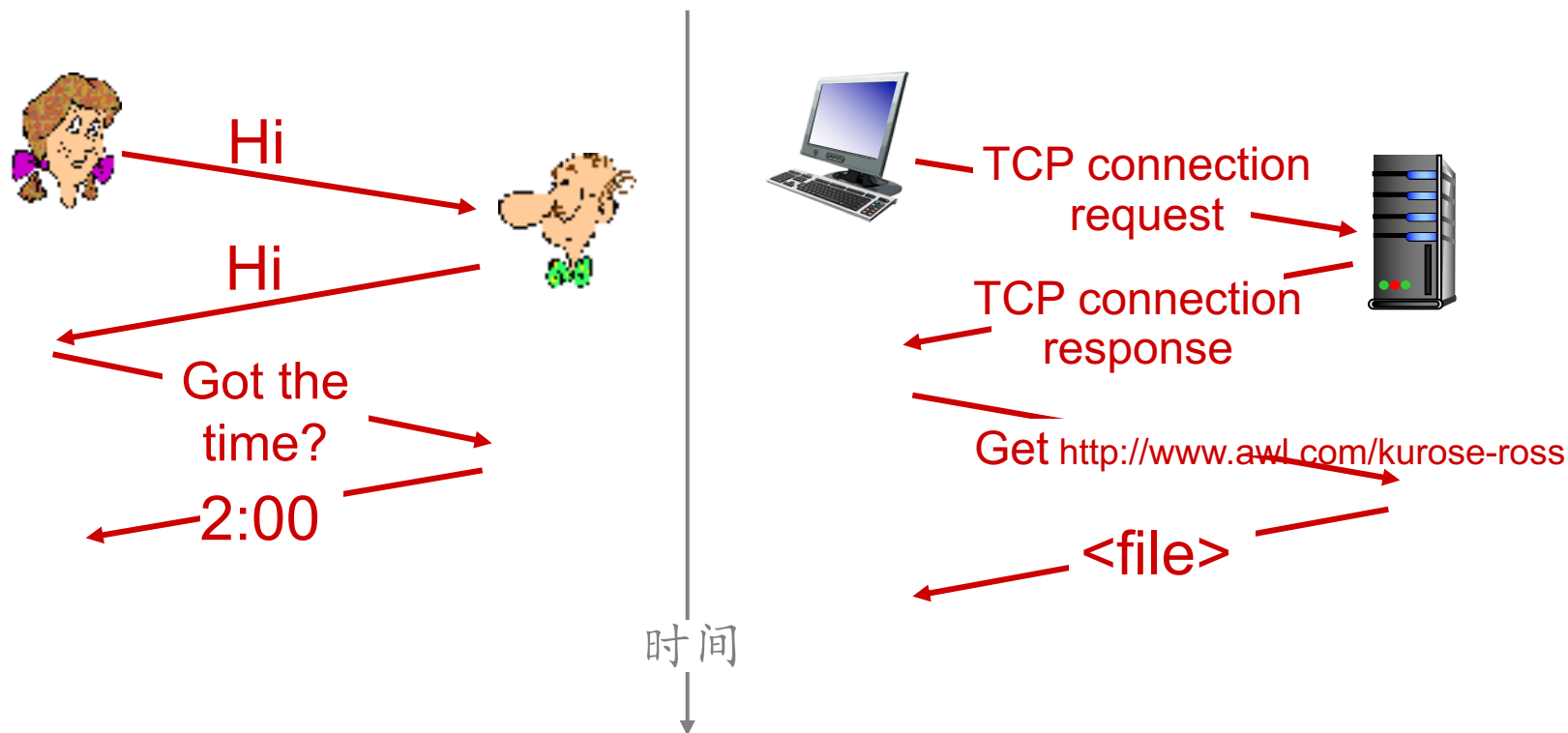
- 语义

- ... 定义网络实体之间发送和接收消息的次序

- 同步

- ... 定义消息传输和接收过程中的相应事件

# 1.1 什么是因特网



**Q:** other human protocols?

2020年11月24日

Tuesday

## 1.2 网络边缘

### ■ 网络结构深入研究

#### □ 网络边缘：

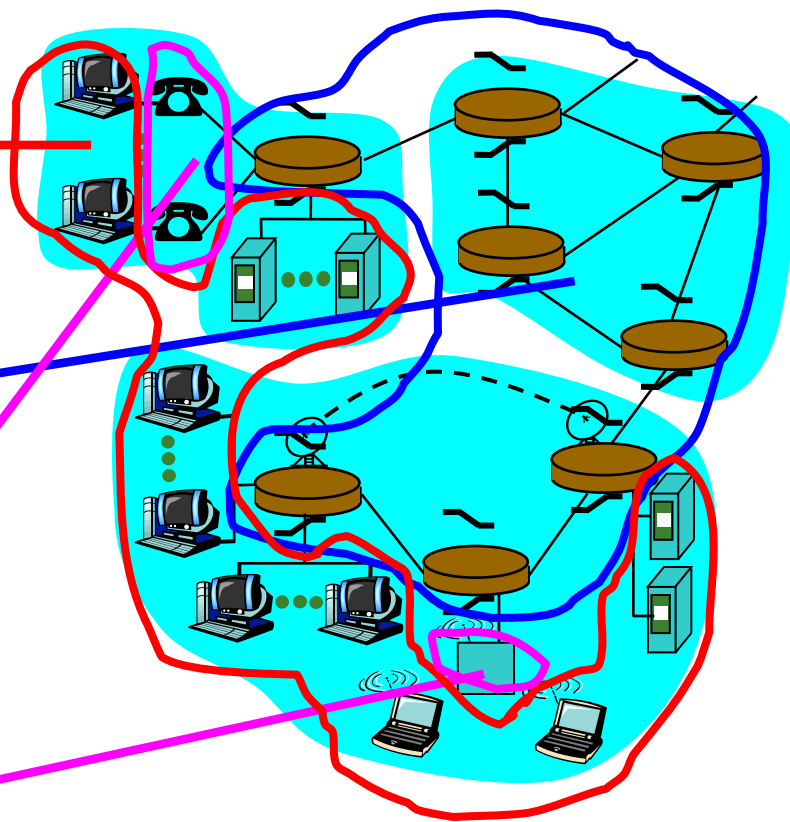
- 主机：客户机/服务器
- 位于数据中心的服务器

#### □ 网络核心：

- 路由器
- 用于连接不同的小网络，构成网络的网络

#### □ 接入网，物理媒体：

- 通信链路





## 1.2 网络边缘

### ■ 网络边缘的构成

#### □ 端系统（主机）

- 运行应用程序，如：IE、Foxmail等

### ■ 网络应用的通信模型

#### □ 客户/服务器模型（C/S）

- 客户：使用服务者
- 服务器：提供服务者

#### □ 对等模型（P2P）

- 所有的主机同时承担服务器和客户机的双重身份

## 1.2 网络边缘

### ■ 接入网的作用

- ❑ 将网络边缘与网络核心连接起来，通常是将端系统连接到边缘路由器上
- ❑ 边缘路由器：端系统到任何其它远程端系统的路径上的第一台路由器

### ■ 接入的方式

- ❑ 家庭：Modem拨号/ADSL拨号/HFC/FTTH/卫星
- ❑ 企业：以太网/Wi-Fi
- ❑ 广域无线接入：3G/4G/5G

## 1.2 网络边缘

### ■ Modem拨号

- ❑ 通过本地电话回路点对点连接ISP的拨号池（通常是路由器），就是计算机打电话
- ❑ 速度最高可达56kbps
- ❑ 无法实现在上网的同时拨打电话

### ■ ADSL：不对称数字用户线

- ❑ 下行/上行速率最高可达8Mbps/1Mbps
- ❑ 频分复用：
  - 0kHz—4kHz：语音
  - 4kHz—50kHz：上行                      50kHz—1MHz：下行
- ❑ 带宽独享

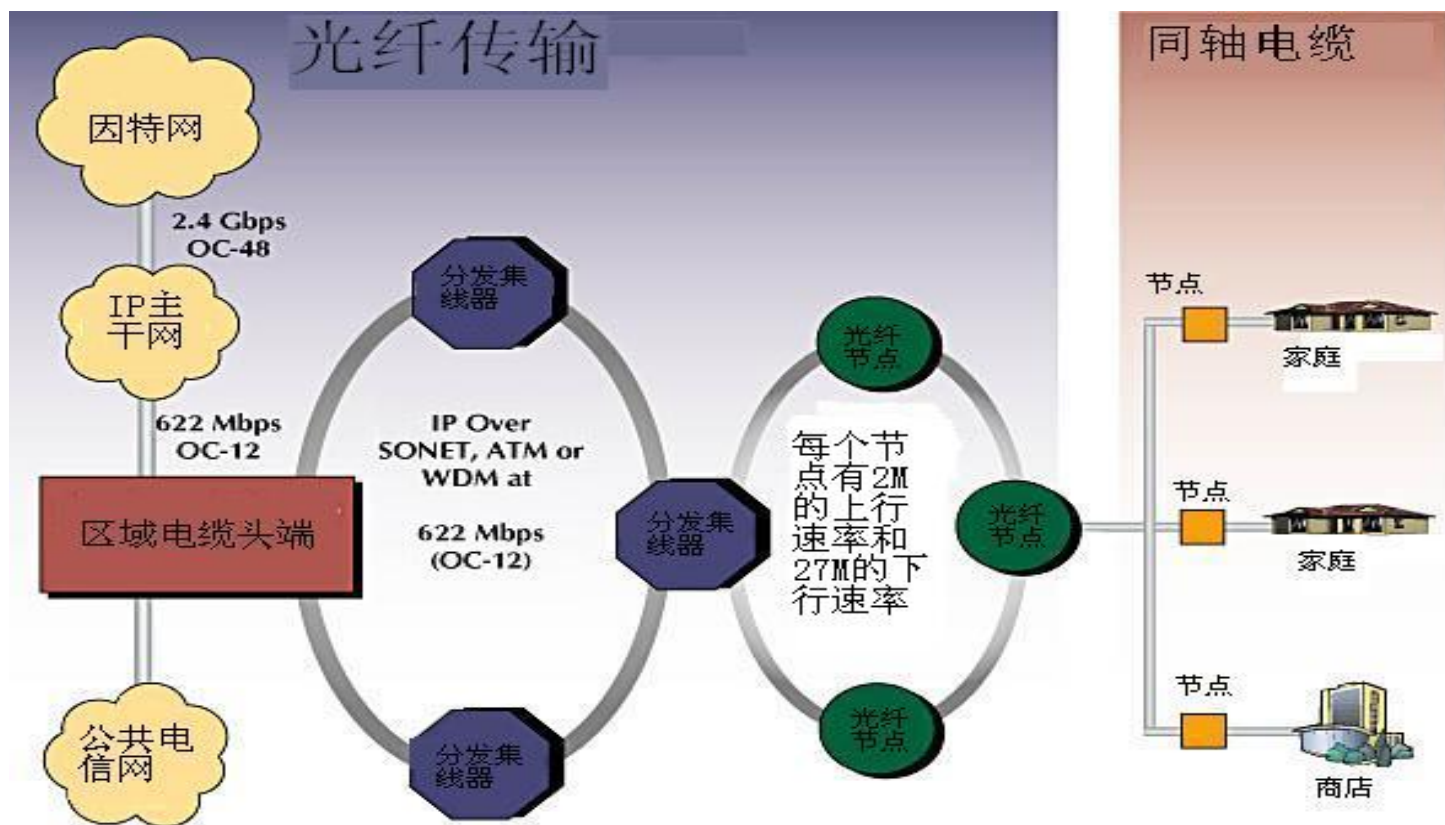
## 1.2 网络边缘

### ■ HFC (Hybrid Fiber Coaxial Cable) : 光纤同轴 电缆混合网络

- 下行/上行速率最高可达40Mbps/10Mbps
- 通过有线电视网络部署
- 带宽共享

## 1.2 网络边缘

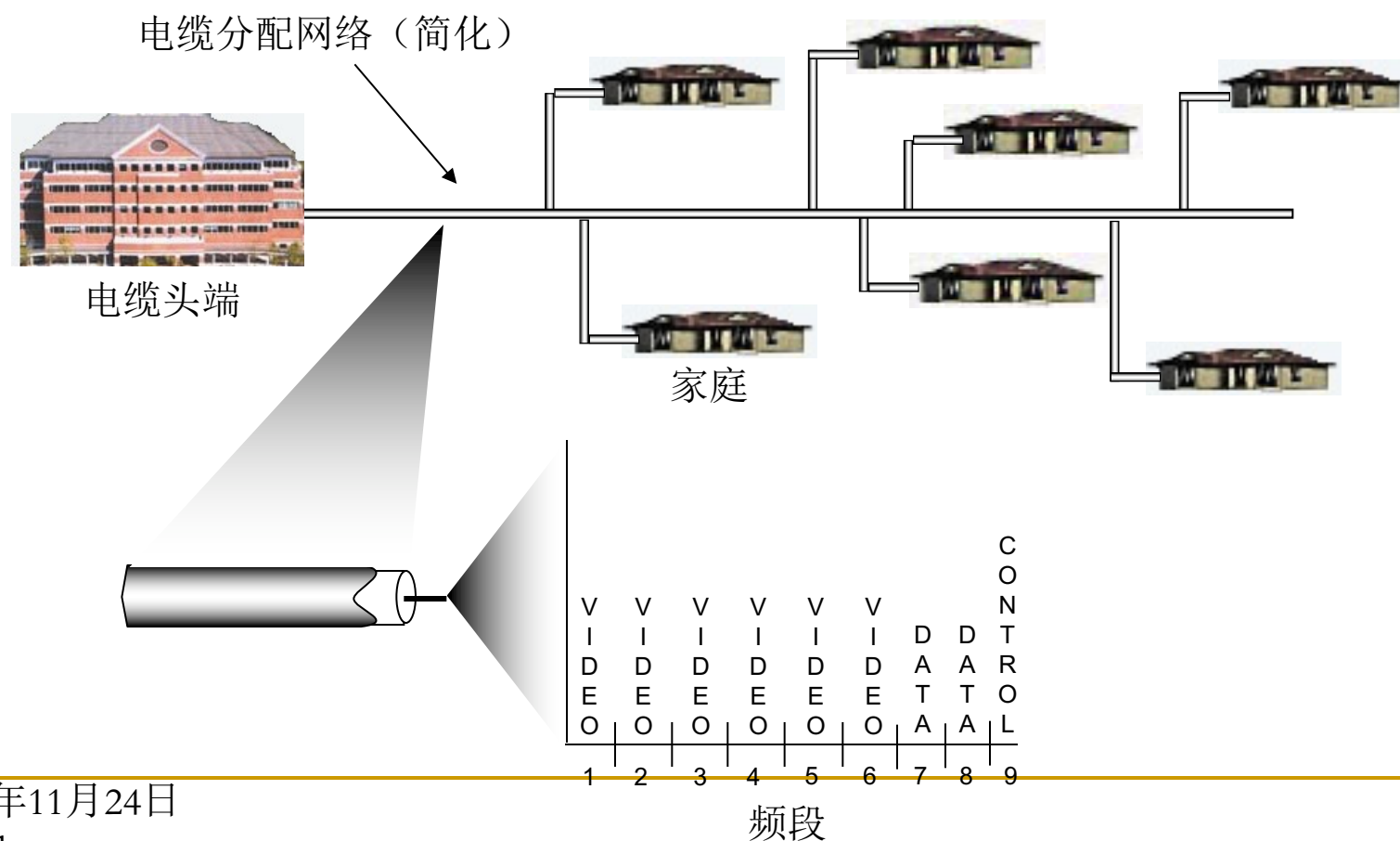
### ■ HFC: 光纤同轴电缆混合网络



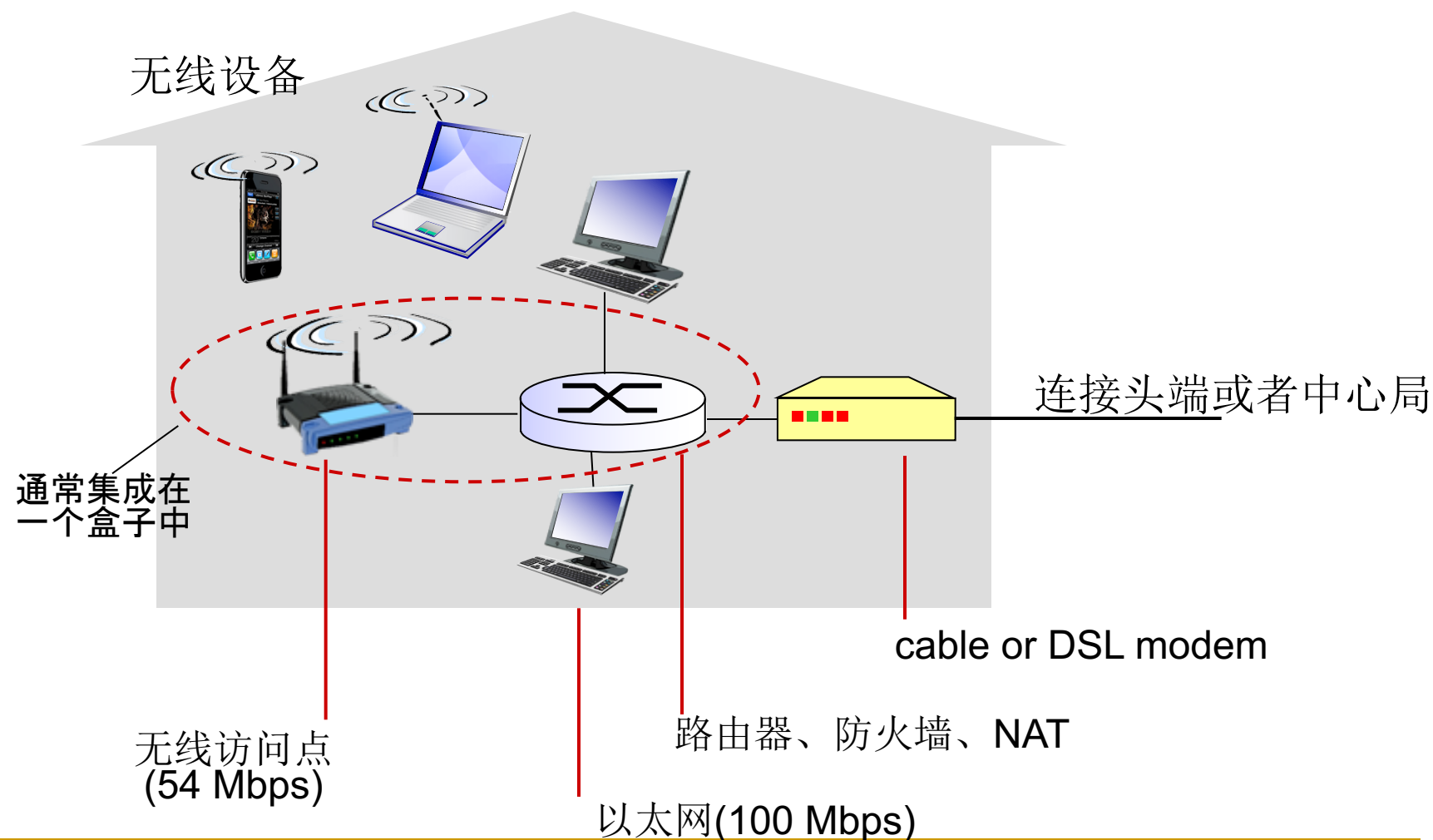
## 1.2 网络边缘

### ■ HFC: 光纤同轴电缆混合网络

典型的有 500到5,000个家庭



## 1.2 网络边缘——典型的家庭网络



## 1.2 网络边缘

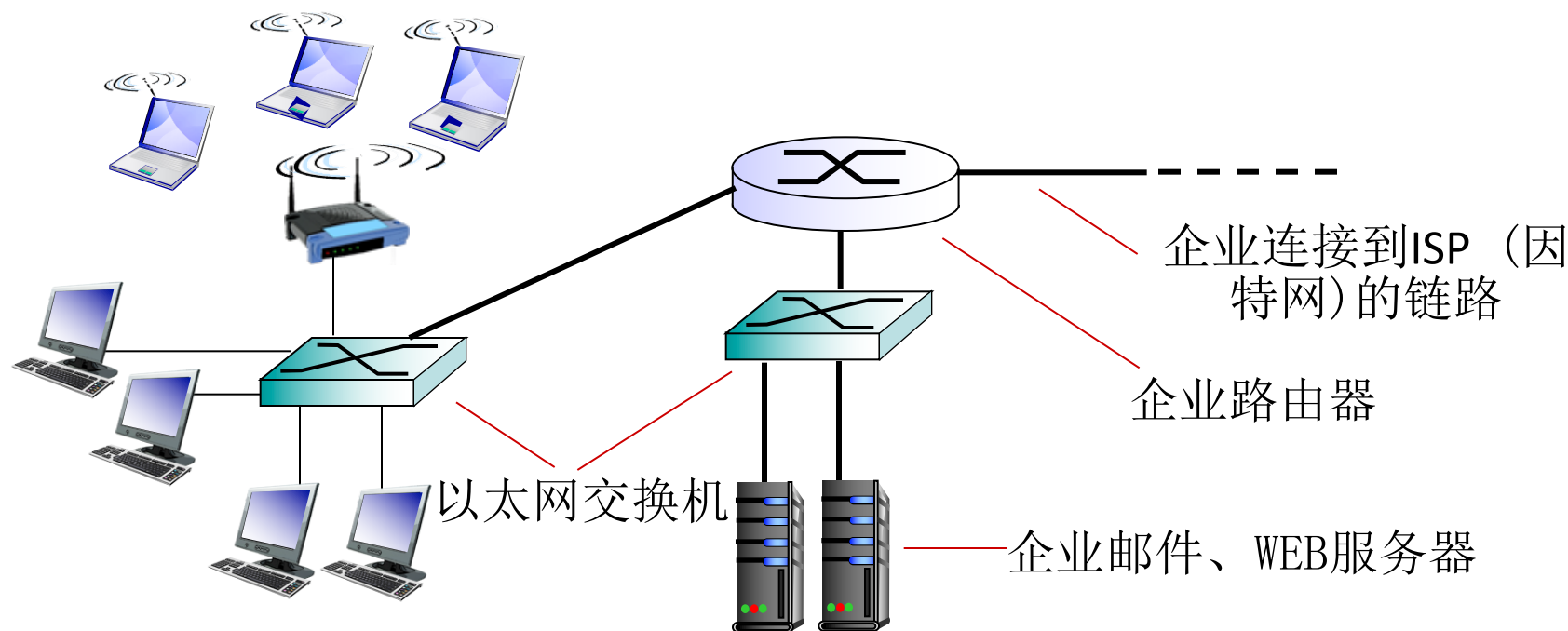
### ■ 局域网接入

- 公司/大学的 **局域网** (LAN) 将端系统连接到边缘路由器
- **以太网**:
  - 通过共享或专用的链路来连接端系统和路由器
  - 10Mbps、100Mbps、1000Mbps、10Gbps 以太网
- 局域网：详见第5章



## 1.2 网络边缘

### ■ 局域网接入——典型的企业网络



## 1.2 网络边缘

### ■ 无线接入

- 共享的无线接入网络连接端系统和路由器

- 通过基站（无线接入点）

- 无线局域网WIFI:

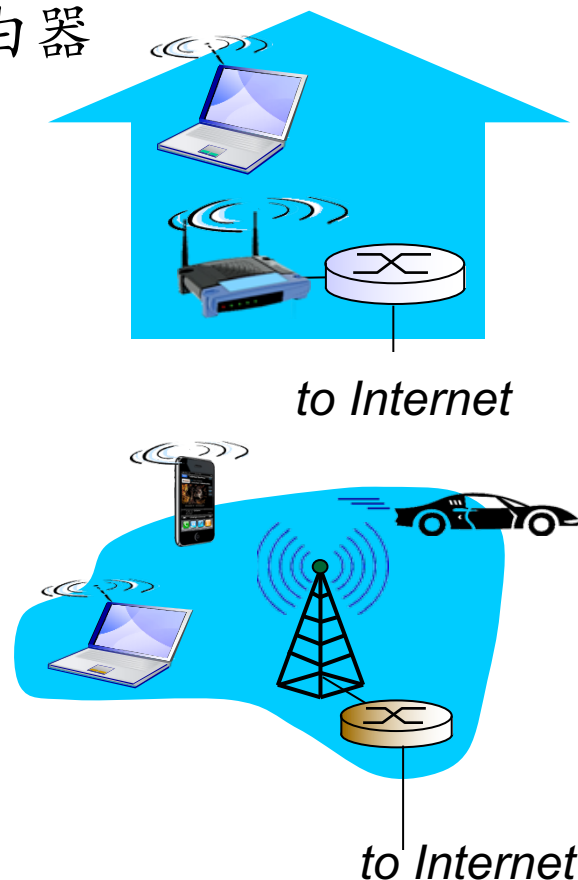
- 802.11:最高1Gbps (802.11ac)

- 广域无线接入

- 由电信运营商提供

- 3G、4G、4G+、5G

- 802.16(WiMAX)



## 1.2 网络边缘

### ■ 物理媒体分类

- 导引型媒体：信号沿着固体媒体被导引
- 非导引型媒体：信号自由传播

### ■ 导引型媒体

- 双绞线：两根互相绝缘的铜导线
  - 3类线：传统的电话线， 10Mbps以太网
  - 5类线：100Mbps以太网
  - 6类线：1Gbps以太网



## 1.2 网络边缘

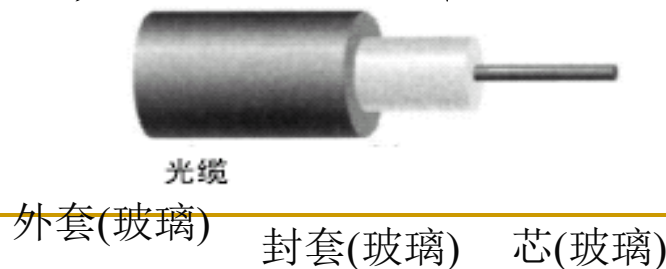
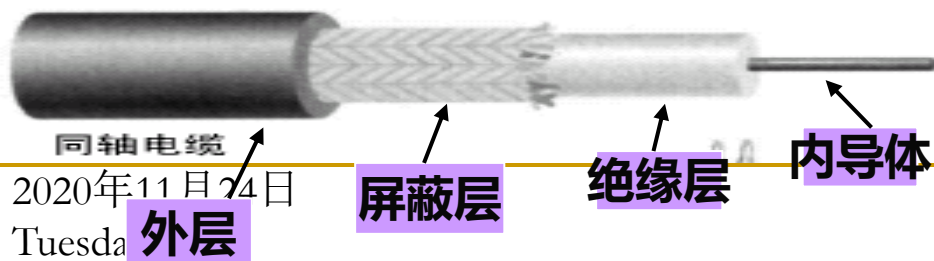
### ■ 导引型媒体

#### □ 同轴电缆

- 双向传输
- 基带
  - 电缆上单信道
  - 以太网
- 宽带
  - 电缆上多信道
  - HFC

#### □ 光缆

- 在玻璃光纤传播光脉冲，  
每一个脉冲一比特
- 高速运行
  - 高速的点ToPoint传输（如10 Gbps）
- 低误码率：中继器相隔很远； 不受电磁干扰



## 1.2 网络边缘

### ■ 非导引型媒体：无线电

#### □ 特性

- 通过电磁频谱传播信号
- 没有物理“线路”
- 双向传输
- 传播环境影响：
  - 反射
  - 被障碍物所阻隔
  - 干扰

#### 无线链路类型：

- 地面微波：可达45Mbps
- 无线局域网：2/11/54Mbps
- 无线广域网：如3G/4G/5G
- 卫星
  - 可达45Mbps的信道（或多个较小的信道）
  - 270毫秒的端到端延迟
  - 同步卫星vs低纬度卫星

## 1.3 网络核心

- 基本问题：数据是怎样通过网络传输的？
- 第一代计算机网络——电路交换网络
  - 数据交换过程
    - 第一步：建立连接
    - 第二步：交换数据
    - 第三步：释放连接
  - 电路交换的特性
    - 数据交换前需建立起一条从发端到收端的物理通路
    - 在数据交换的全部时间内用户始终占用端到端的固定传输信道
    - 交换双方可实时进行数据交换而不会存在任何延迟

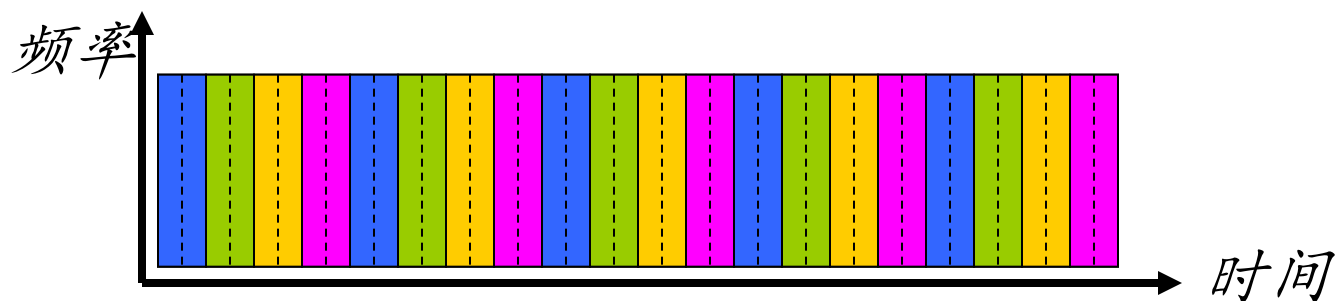
## 1.3 网络核心

### ■ 第一代计算机网络——电路交换网络

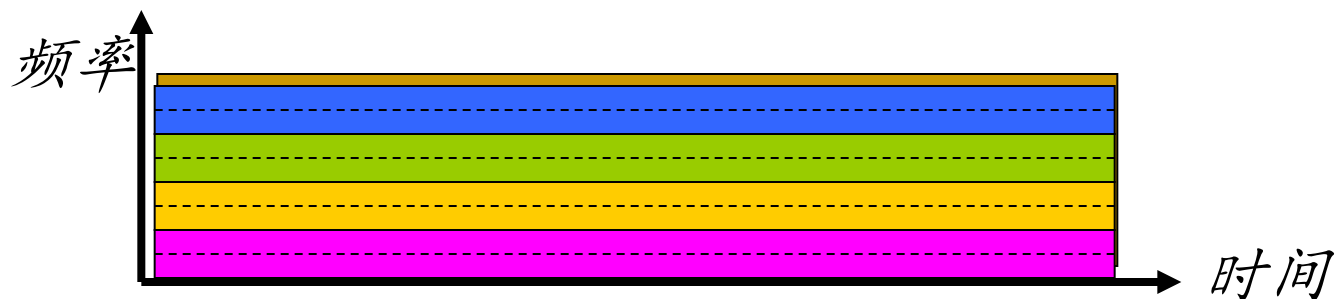
#### □ 电路交换中的复用

##### ■ 时分复用 (TDM)

4 对用户 ■ ■ ■ ■



##### ■ 频分复用 (FDM)



## 1.3 网络核心

### ■ 第一代计算机网络——电路交换网络

#### □ 例题

计算通过电路交换网络将一个640,000比特长的文件从主机A传送到主机B需要多长时间？

- 所有链路速率皆为1.536 Mbps
- 每条链路使用有24个时隙的TDM
- 建立端到端的电路需要500毫秒

$$0.5s + 640k / (1536kbps / 24) = 10.5s$$



## 1.3 网络核心

### ■ 第一代计算机网络——电路交换网络

#### □ 存在的问题

- 计算机之间的数据交换往往具有**突发性**和**间歇性**特征，而对电路交换而言，用户支付的费用则是按用户占用线路的时间来收费的
- **不够灵活**。只要在通话双方建立的通路中的任何一点出了故障，就必须重新拨号建立新的连接，这对紧急和重要通信是很不利的。

结论：电路交换技术不适合于计算机间的数据交换。

## 1.3 网络核心

### ■ 第二代计算机网络——分组交换网络

#### □ 引入分组交换网络的动机

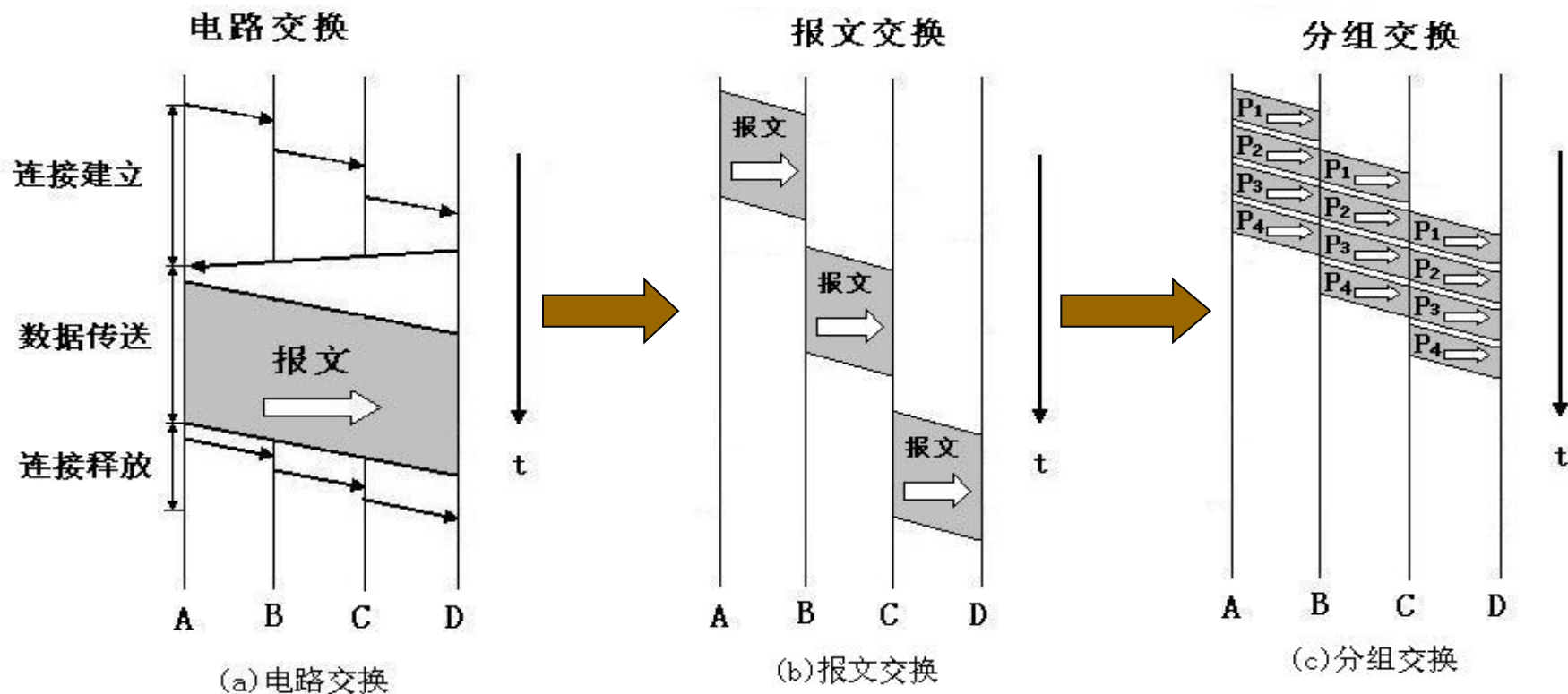
美国军方针对“数据”交换的特征以及电路交换技术存在的局限性，提出**真正意义上的计算机网络**必须满足：

- 不是为了打电话，而是用于计算机之间的数据传送
- 能够连接不同类型的计算机
- 所有的网络结点同等重要，不能有特别重要的结点
- 必须有冗余路由
- 网络结构尽可能简单，能够可靠传送数据

# 1.3 网络核心

## ■ 第二代计算机网络——分组交换网络

### □ 计算机网络的演化

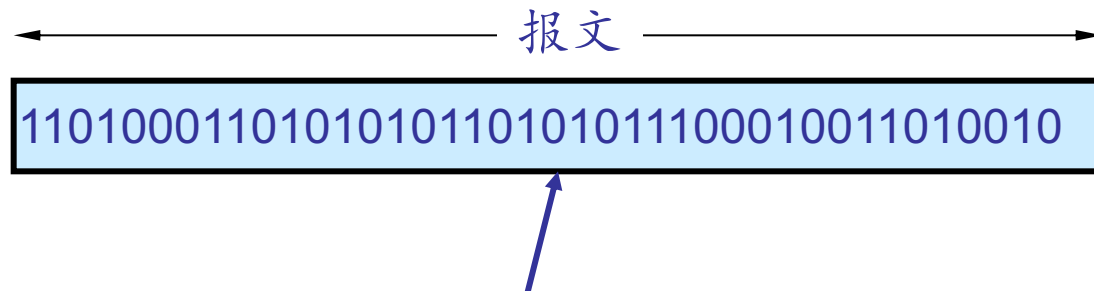


## 1.3 网络核心

### ■ 第二代计算机网络——分组交换网络

#### □ 分组交换的工作流程

(1) 在发送端，先把较长的报文划分成较短的、固定长度的数据段



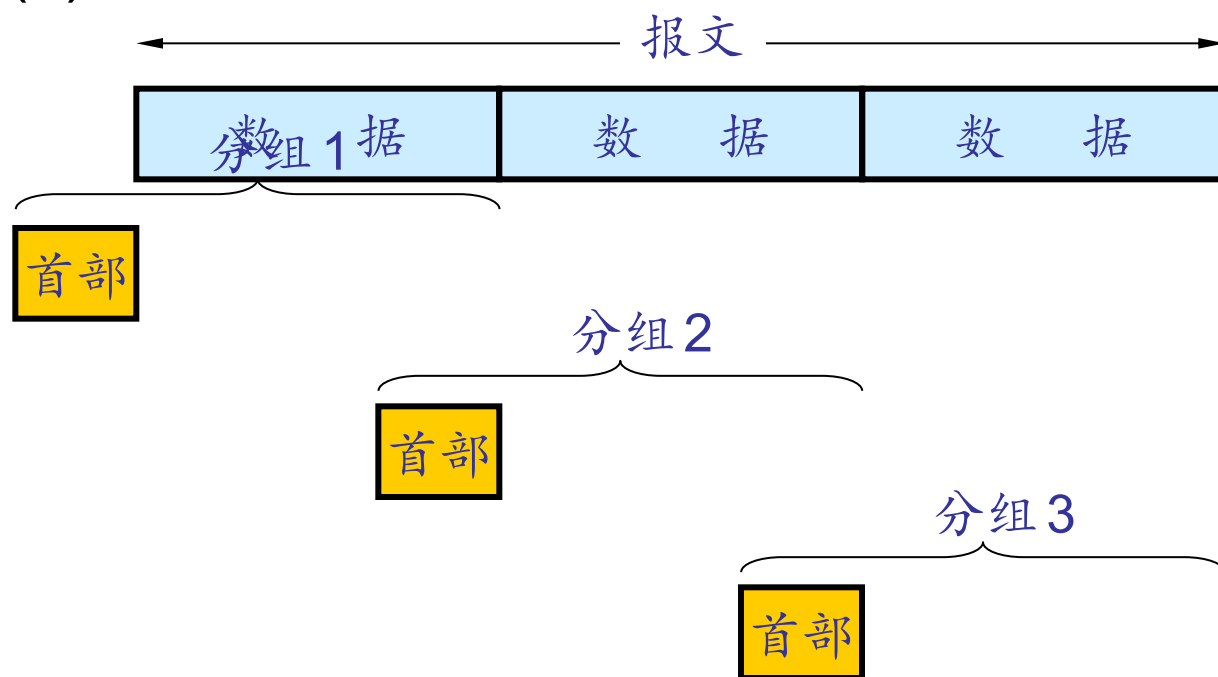
假定这个报文较长不便于传输

# 1.3 网络核心

## ■ 第二代计算机网络——分组交换网络

### □ 分组交换的工作流程

(2) 每一个数据段前面添加上首部构成分组



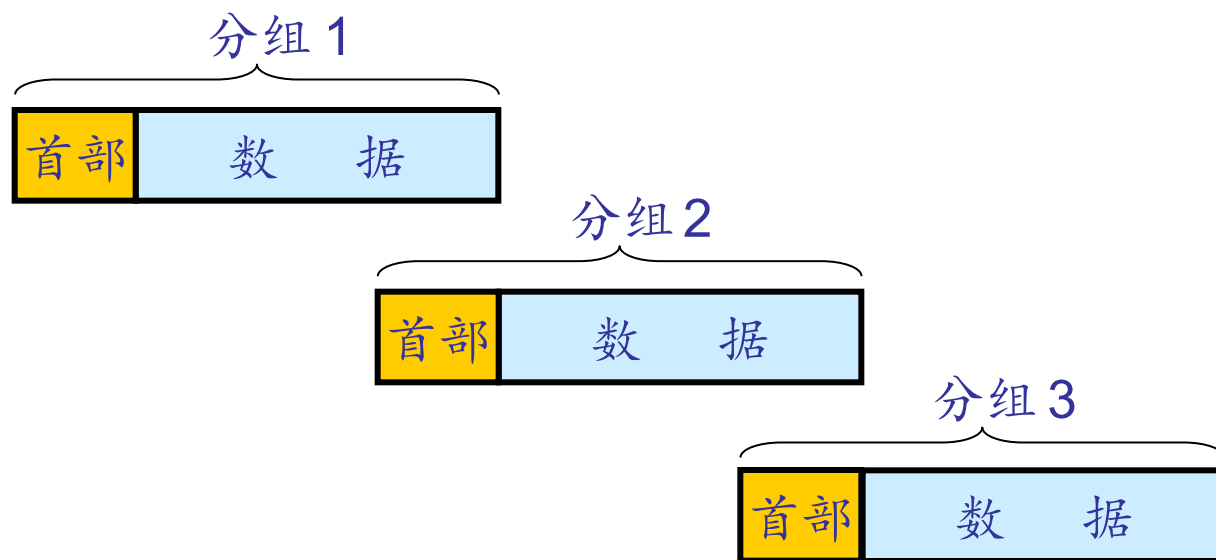
## 1.3 网络核心

### ■ 第二代计算机网络——分组交换网络

#### □ 分组交换的工作流程

(3) 分组交换网以“**分组**”作为数据传输单元

(4) **依次**把各分组发送到接收端（假定接收端在左边）

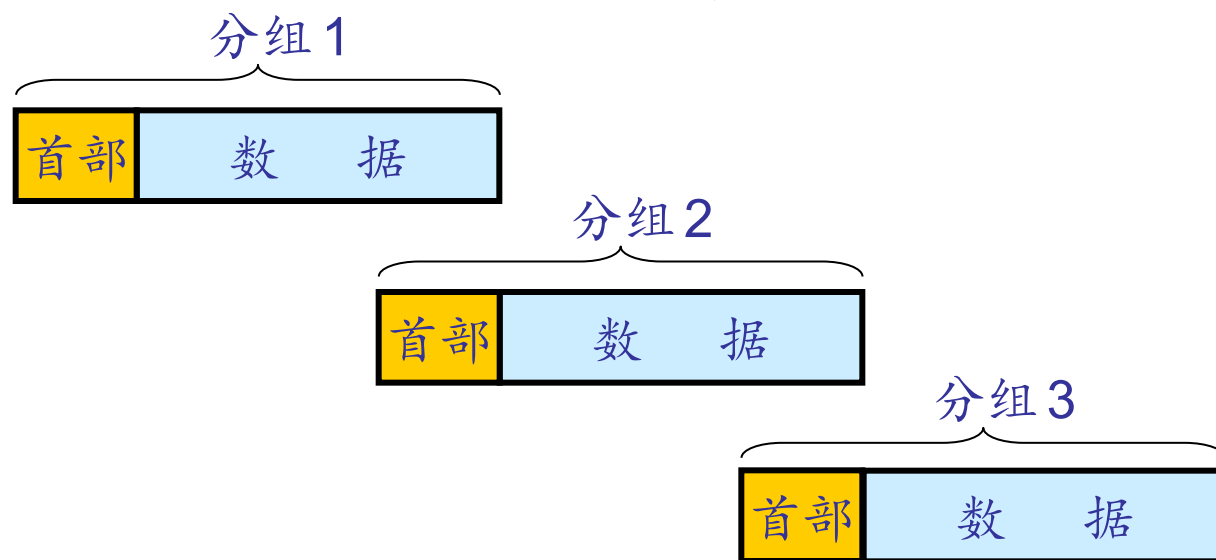


## 1.3 网络核心

### ■ 第二代计算机网络——分组交换网络

#### □ 分组交换的工作流程

(5) 接收端收到分组后剥去首部还原成报文



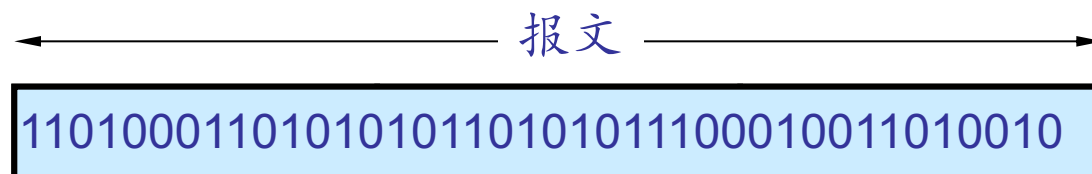
收到的数据

## 1.3 网络核心

### ■ 第二代计算机网络——分组交换网络

#### □ 分组交换的工作流程

(6) 最后，在接收端把收到的数据恢复成为原来的报文





## 1.3 网络核心

### ■ 第二代计算机网络——分组交换网络

#### □ 分组交换的工作流程

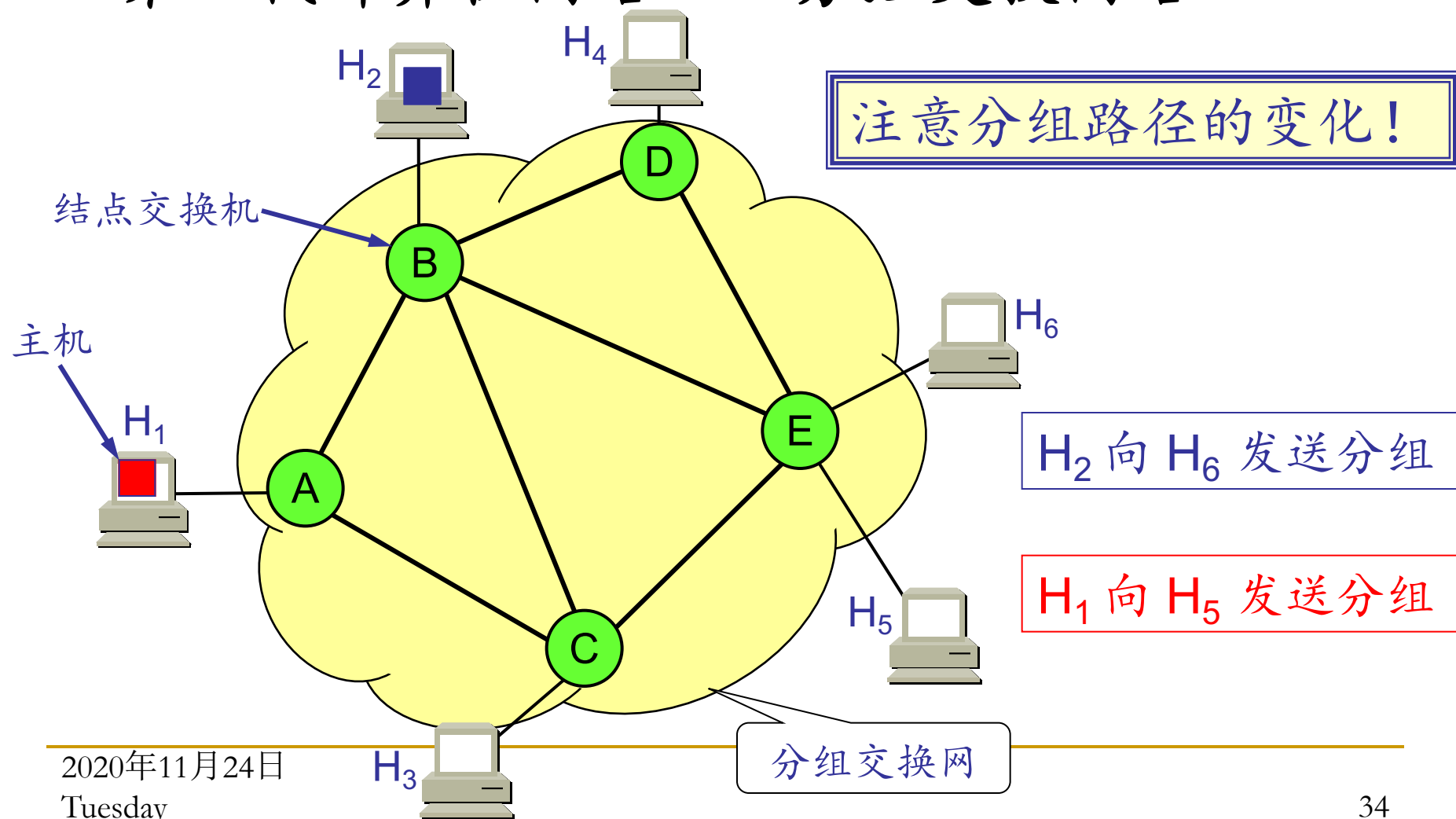
备注1：这里我们假定分组在传输过程中没有出现差错，在转发时也没有被丢弃。

备注2：分组首部的重要性：

- 每一个分组的首部都含有地址等控制信息。
- 分组交换网中的结点交换机根据收到的分组的首部中的地址信息，把分组转发到下一个结点交换机。
- 用此种存储转发方式，最后分组就能到达最终目的地。

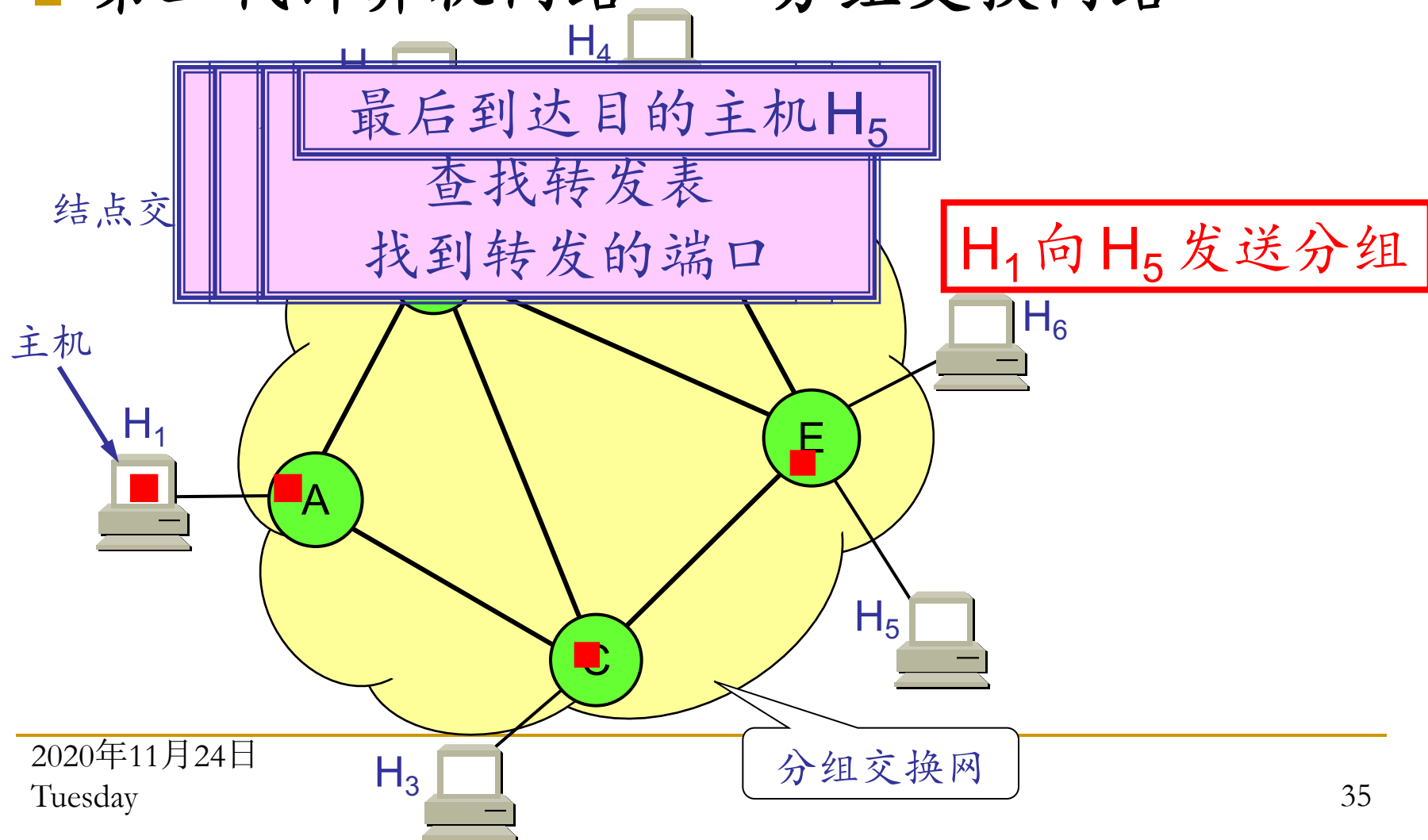
## 1.3 网络核心

### ■ 第二代计算机网络——分组交换网络



## 1.3 网络核心

### ■ 第二代计算机网络——分组交换网络



## 1.3 网络核心

### ■ 第二代计算机网络——分组交换网络

#### □ 分组交换网络的特征

- 被传送的数据分成若干分组分别传送
- 数据传输前不必预先确定分组的传输路径
- 网络核心中的每个交换结点均为共享结点,并且都具有分组的存储/转发以及选择合适路由的能力
- 在数据通信的过程中,网络核心断续(动态)分配传输带宽,使得通信线路的利用率得以大大提高



## 1.3 网络核心

### ■ 第二代计算机网络——分组交换网络

#### □ 分组交换网络的特征

- 为了提高分组交换网的可靠性，网络核心常采用网状拓扑结构，使得当发生网络拥塞或少数中间交换结点、链路出现故障时，可灵活地改变路由而不致引起通信的中断或全网的瘫痪；
- 通信网络的主干线路往往由一些高速链路构成

## 1.3 网络核心

### ■ 第二代计算机网络——分组交换网络

#### □ 转发

- 目标: 通过路由器将分组从源主机移动到目的主机

- 我们将学习一些路径选择（如：路由）算法（第4章）

#### ■ 数据报网络

- 分组内的 目的地址 决定下一跳

- 在会话过程中路由可能改变

- 类似的：驾驶，问路

#### ■ 虚电路网络

- 每个分组携带一个标识（虚电路号），该标识决定下一跳

- 在呼叫建立时决定固定的路径，并在整个呼叫过程中保持不变

- 路由器保持每个呼叫连接的状态

## 1.3 网络核心

### ■ 分组交换 VS 电路交换

□ 假设：

■ 1Mbps的链路，每个用户需要100kbps

■ 分组交换下1个用户活跃的概率为0.1

□ 电路交换：仅支持10个用户（1Mbps/100kbps）

□ 分组交换：35个用户条件下，11个及以上用户同时活跃的概率为0.0004，即10个及10个以内用户同时活跃的概率为0.9996，基本上与电路交换性能相当

在相同条件下，分组交换能够比电路交换支持更多的用户

 下续

## 1.3 网络核心

### ■ 分组交换 VS 电路交换

- 更一般的分组交换
  - 用户速率无限制
- 假设：
  - 同一时刻仅有一个用户传输1M的数据
  - 电路建立时间可忽略不计
- 电路交换所需时间：10s
- 分组交换所需时间：1s

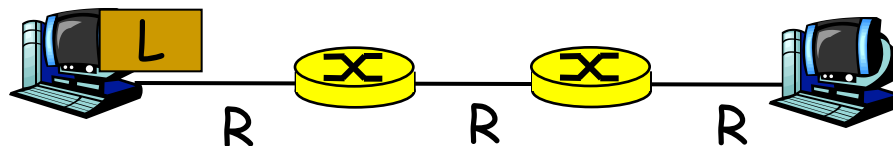
当用户数较少时，分组交换能够获得比电路交换更好的性能





# 1.3 网络核心

## ■ 分组交换 VS 电路交换



- ❑ 将L长的分组传输 (推送出去) 到链路 (速率为R bps) 要花费  $L/R$  秒：传输时延
- ❑ 当整个分组到达路由器后才能向下条链路传输：存储转发
- ❑ 时延 =  $3L/R$

### 举例：

- ❑  $L = 7.5 \text{ Mbits}$
- ❑  $R = 1.5 \text{ Mbps}$
- ❑ 传输时延 = 15 秒

## 1.3 网络核心

### ■ 分组交换 VS 电路交换

#### □ 分组交换网络存在的问题

- 分组在各结点存储转发时因要排队总会造成一定的时延。  
当网络通信量过大时，这种时延可能会很大
- 各分组必须携带一定的控制信息（说明信息），从而带来额外开销
- 整个分组交换网的管理和控制比较复杂

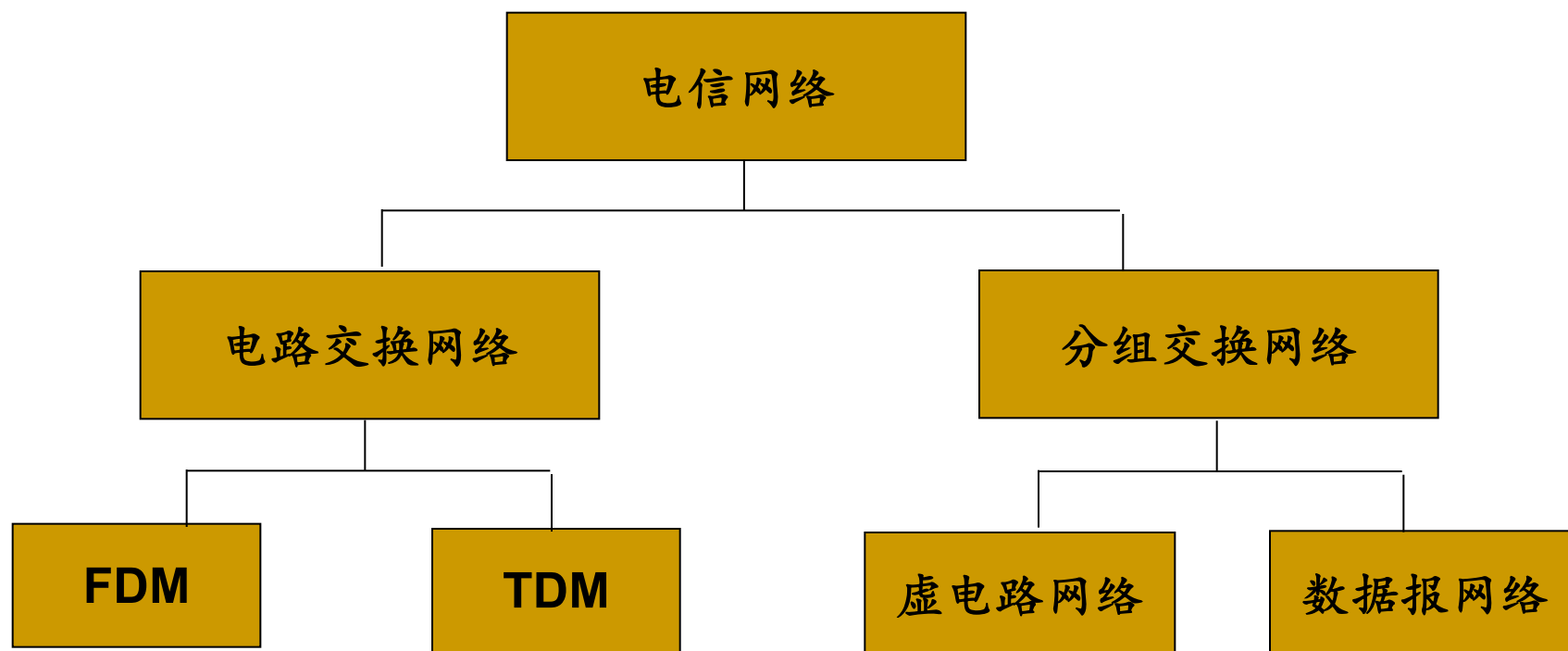
## 1.3 网络核心

### ■ 分组交换 VS 电路交换——结论

- 若要连续传送大量数据，且其传送时间远大于呼叫建立时间，则采用在数据通信之前预先分配传输带宽的电路交换较为合适
- 分组交换不需要预先分配传输带宽，在传送突发数据时可提高整个网络的信道利用率

## 1.3 网络核心

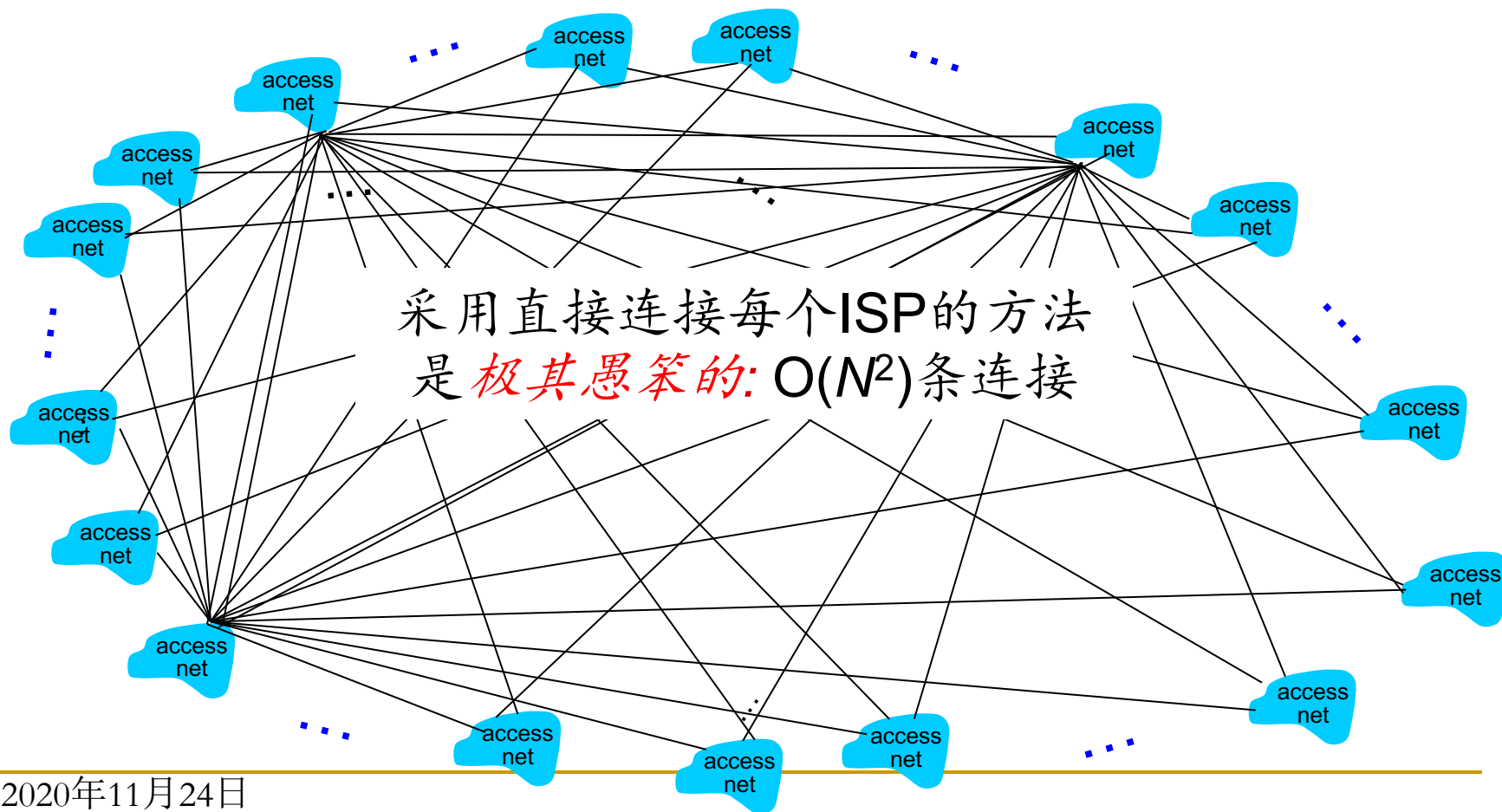
### ■ 网络核心分类



## 1.3 网络核心

### ■ ISP和因特网主干

*Question: 考虑到数以百万计的接入服务提供商, 如何将它们连接在一起?*

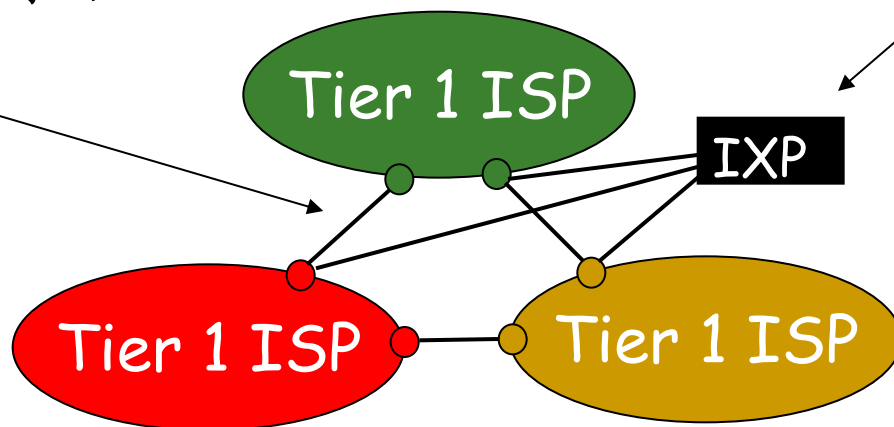


## 1.3 网络核心

### ■ ISP和因特网主干

- ❑ 松散的层次结构
- ❑ 通过分层的ISP等级结构体现
- ❑ 在中心：“主干” ISPs（如UUNet, BBN/Genuity, Sprint, AT&T），实现国际间的覆盖
- ❑ 相互间是对等的

第一层对等体  
间在专用对等  
点相连



第一层同时也可以  
在 *Internet exchange  
point* (IXP) 互连

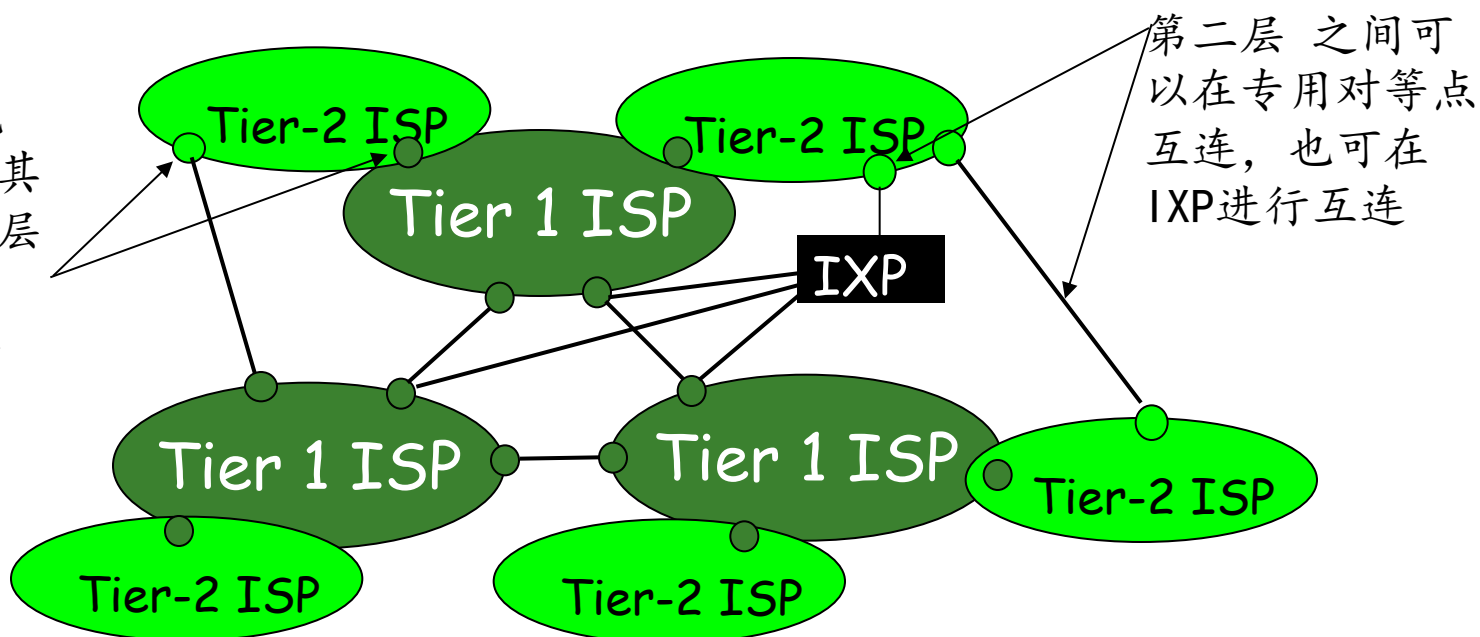
## 1.3 网络核心

### ■ “第二层” ISPs: 较小的区域ISPs

- 连接到一个或多个第一层ISPs, 或者其它第二层 ISPs

□ 第二层ISP为能够连接因特网的其它区域而向第一层ISP付费

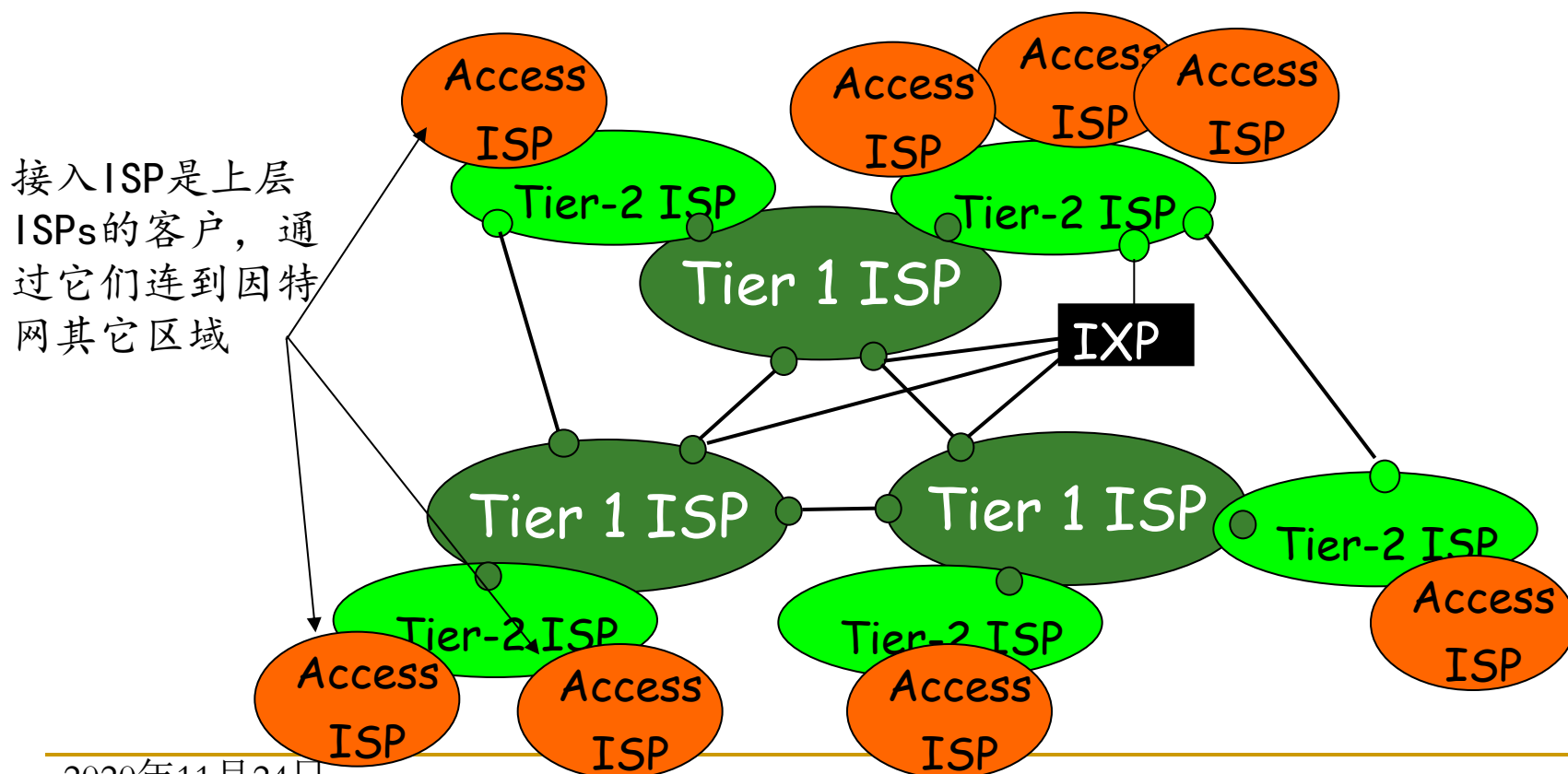
□ 第二层ISP是第一层ISP的客户



# 1.3 网络核心

## ■ “第三层” ISPs：接入ISPs

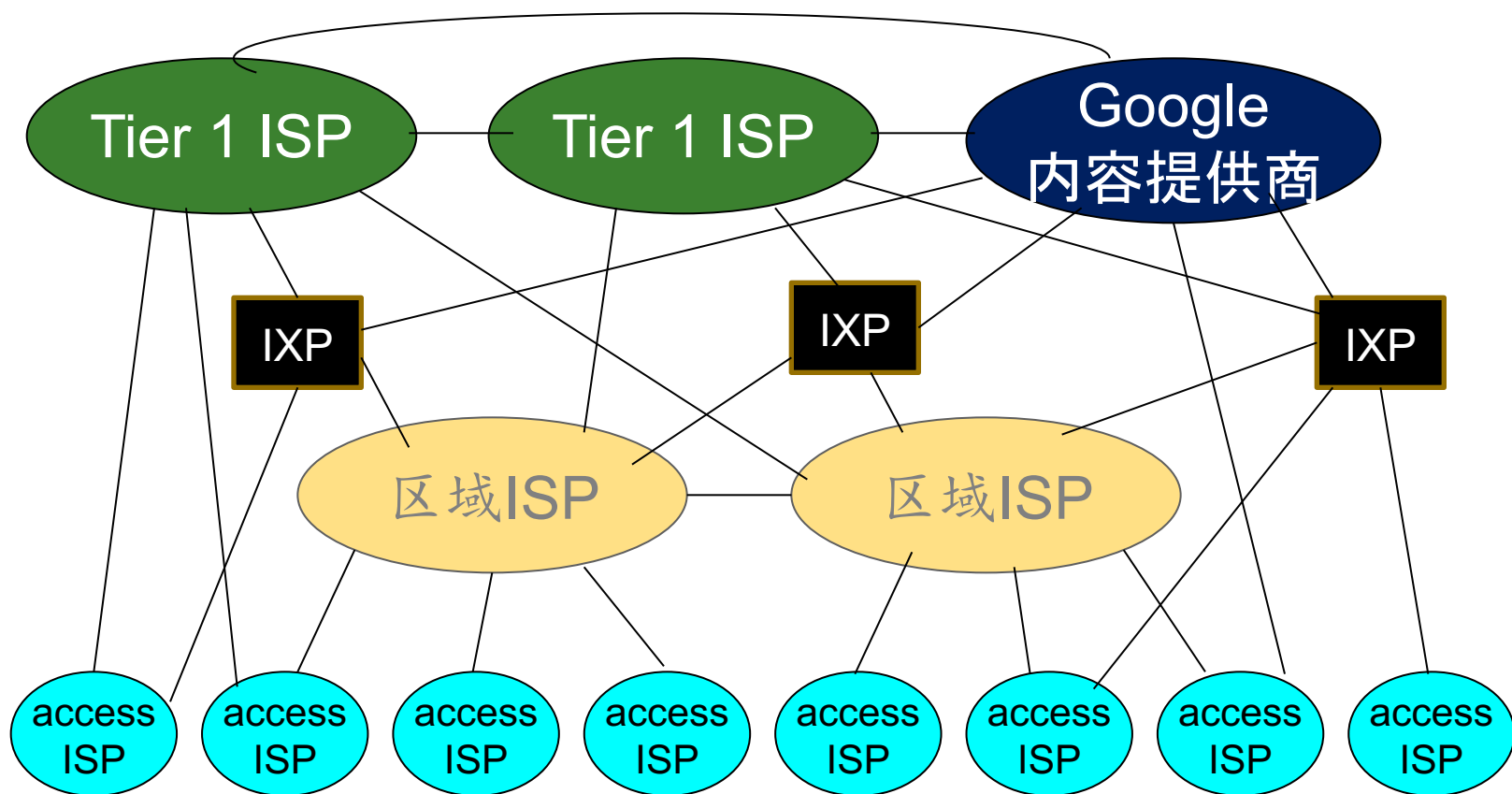
- 最后一跳（“接入”）网络（与端系统最近）





## 1.3 网络核心

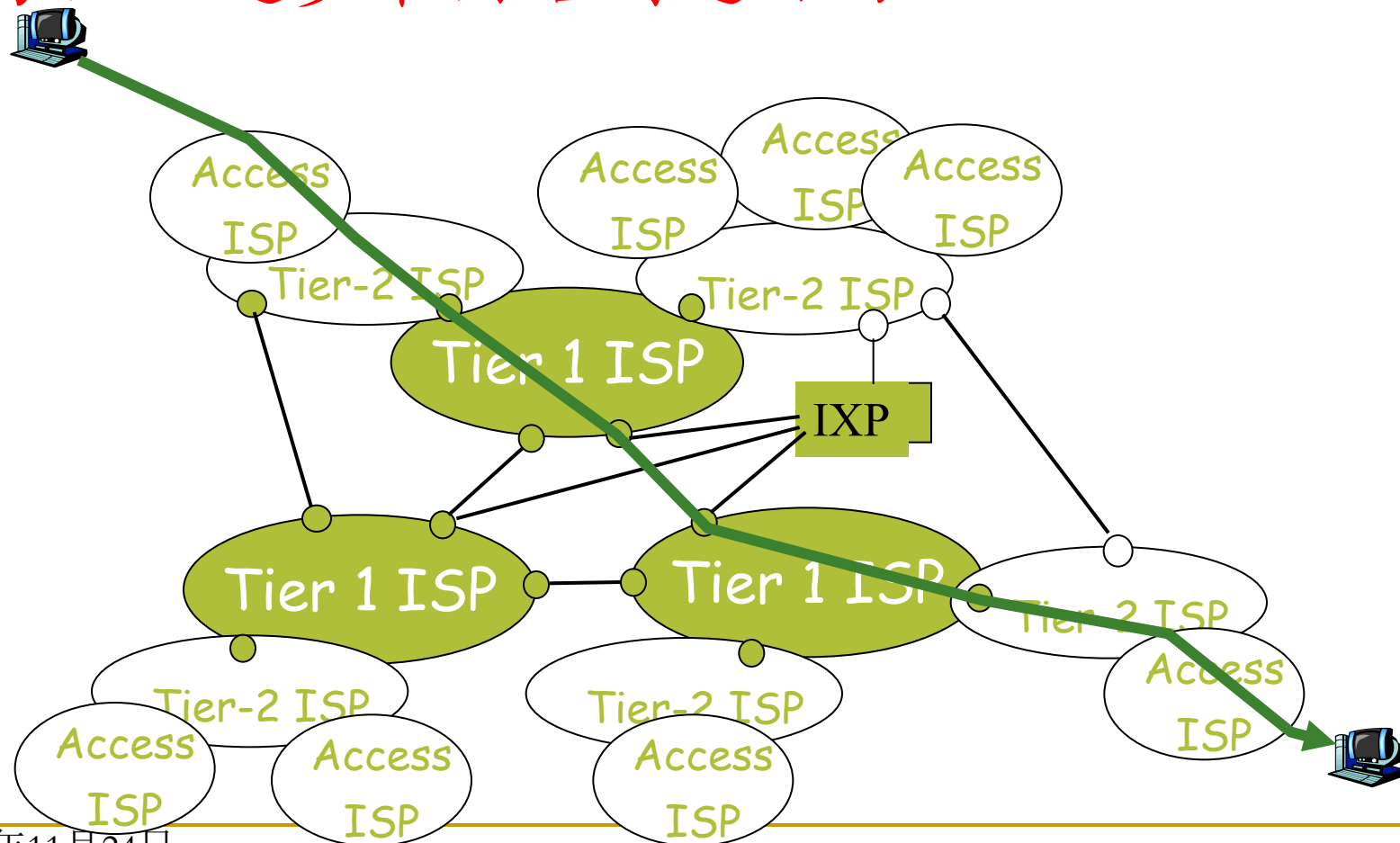
### ■ ISP和因特网主干



## 1.3 网络核心

因特网本质上就是众多的网络连接起来构成一张更大的网络，所以才称之为万网之网。

### ■ 分组经过多个网络到达目的地



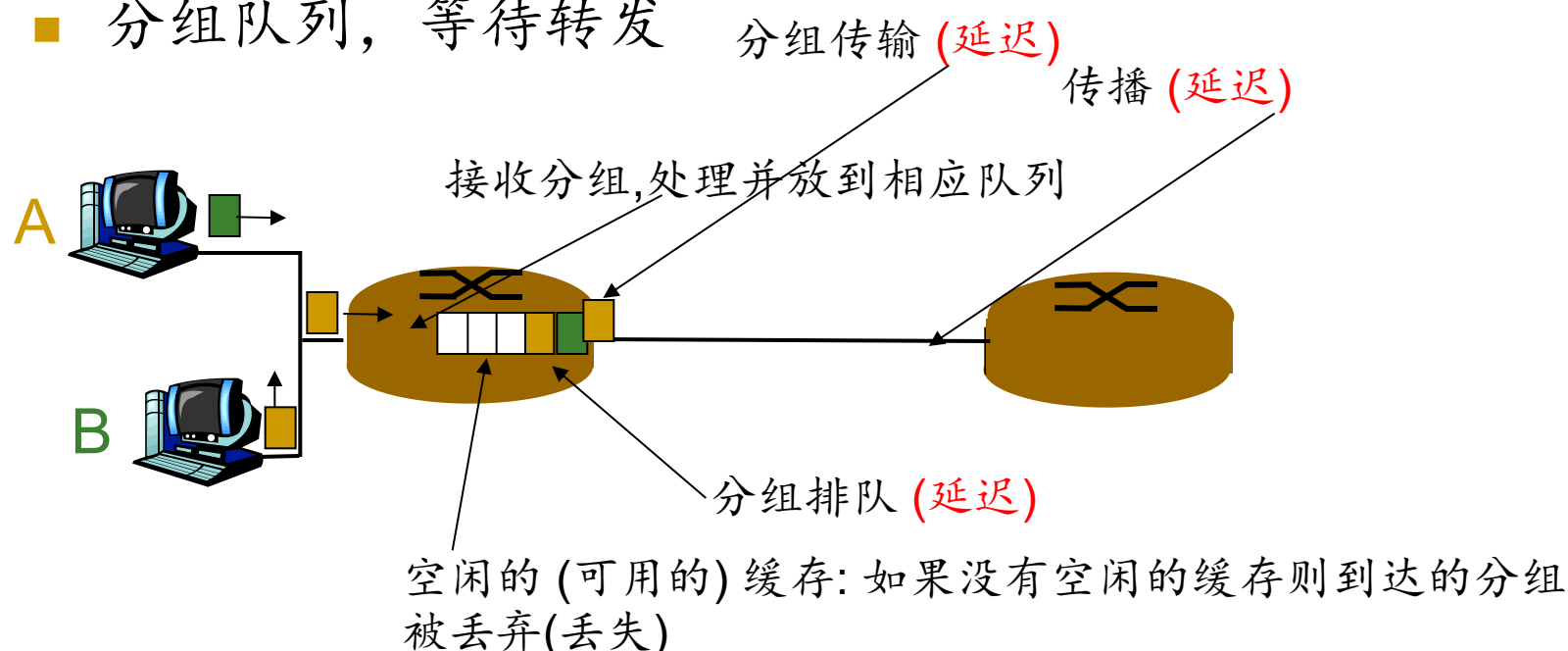
# 1.4 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量

## ■ 数据丢失和产生时延的原因

### □ 在路由器缓存中的分组队列

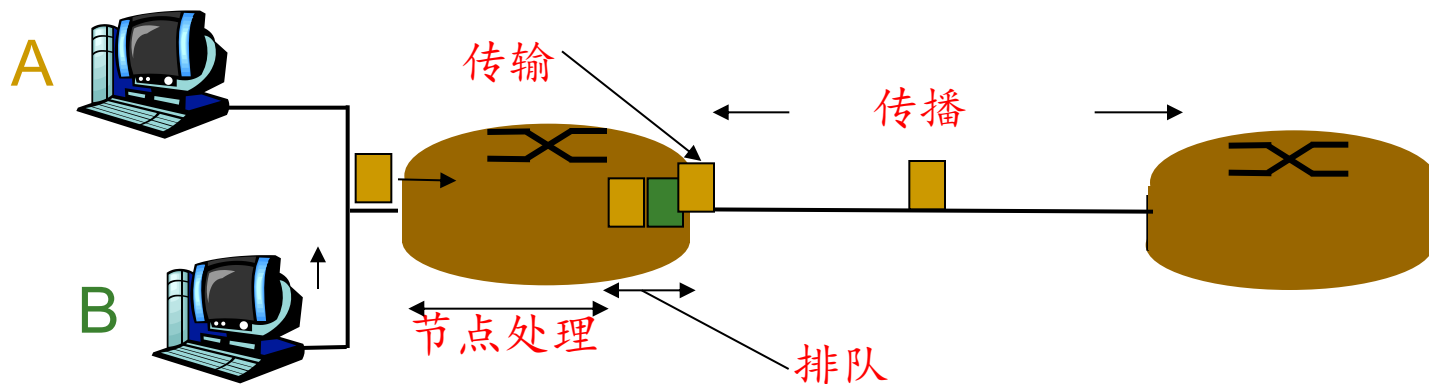
■ 分组到达输入链路的速率超出输出链路能力

■ 分组队列，等待转发



# 1.4 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量

## ■ 四种分组时延



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

### 传输时延 $d_{\text{trans}}$

- $R$  = 链路带宽 (bps)、 $L$  = 分组长度 (bits)
- 将分组比特流发送到链路上的时间 =  $L/R$

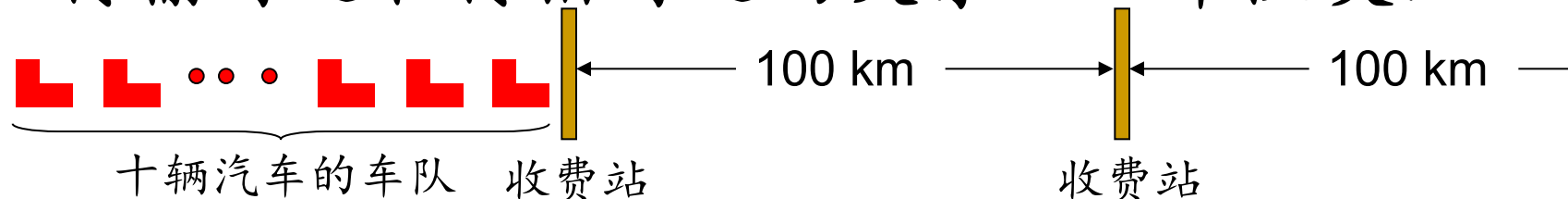
### 传播时延 $d_{\text{prop}}$

- $d$  = 物理链路的长度
- $s$  = 媒体中的传播速度 ( $\sim 2 \times 10^8$  米/秒)
- 传播时延 =  $d/s$

$d_{\text{trans}}$  和  $d_{\text{prop}}$  是不同的

# 1.4 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量

## ■ 传输时延和传播时延的关系——车队类比

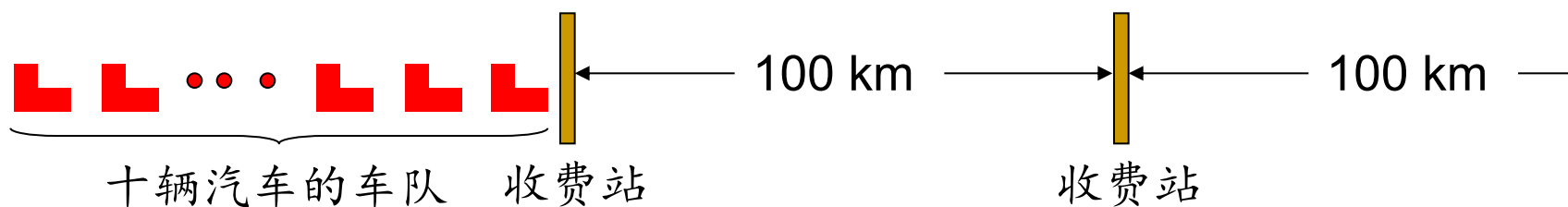


- 汽车以100公里/小时的速度行驶
- 收费站为每辆车提供服务需耗费12秒 (传输时间)
- 汽车~位; 车队~分组
- 问题Q: 从现在到车队排列到下一个收费站前需要多长时间?
- 通过收费站将车队“推送”到高速公路的时间 =  $12 \times 10 = 120$  秒
- 从第一个收费站到下一个收费站的汽车行驶时间:  $100 \text{ 公里} / (100 \text{ 公里/小时}) = 1$  小时
- 答案: 62 分钟

➡ 下续

# 1.4 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量

## ■ 传输时延和传播时延的关系——车队类比



- 现在汽车以1000公里/小时的速度行驶
- 现在收费站为每辆车提供服务需耗费1分钟
- **Q: 有汽车会在所有汽车离开第一个收费站前到达下一个收费站吗?**

- **是的!** 7分钟后, 第一辆汽车将会到达下一个收费站, 而还有3辆车仍然在第一个收费站
- 分组在第一个路由器被全部传送出去之前, 该分组的第一个比特已经到达了下一个路由器!

# 1.4 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量

## ■ 排队时延（再次讨论）

### □ 假定

- $R$ =链路带宽 (bps)
- $L$ =分组长度 (bits)
- $a$ =平均分组到达速率

### □ 流量强度： $La/R$

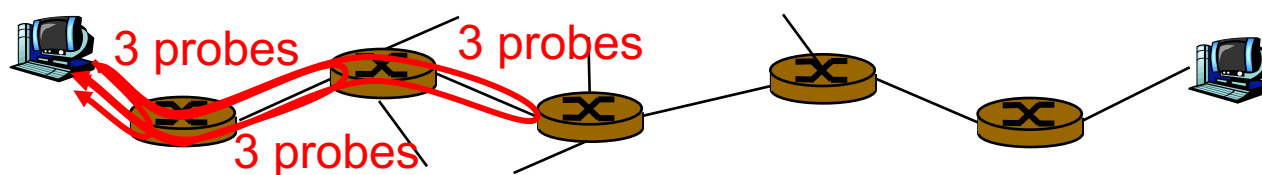
- $La/R \sim 0$ : 平均排队时延很小，甚至为0
- $La/R < 1$ : 时延较小，且会随时间推延而变小
- $La/R = 1$ : 时延不会变化，具体数值取决于当时队列长度
- $La/R > 1$ : 平均时延较大，且随时间推延而趋于无穷！

# 1.4 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量

## ■ “真实的” 因特网的延迟和路由

□ **Traceroute 程序**: 为从源端到目的地的因特网端到端路径上的路由器提供时延计量方法. 对所有到目的地路径上的路由器  $i$ :

- 发送3个分组
- 路由器  $i$  将向发送者返回分组
- 发送者计算发送分组和收到响应之间的时间间隔





# 1.4 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量

## ■ “真实的” 因特网的延迟和路由

```
C:\Users\crackryan>tracert www.baidu.com
```

通过最多 30 个跃点跟踪  
到 www.a.shifen.com [14.215.177.39] 的路由:

边缘网关路由器的IP地址

1	1 ms	4 ms	<1 毫秒	XiaoQiang [192.168.31.1]
2	1 ms	4 ms	1 ms	192.168.1.1
3	21 ms	4 ms	123 ms	221.232.172.1
4	6 ms	9 ms	11 ms	111.175.201.209
5	12 ms	4 ms	5 ms	111.175.200.89
6	*	*	*	请求超时。
7	84 ms	126 ms	30 ms	113.96.4.90
8	24 ms	27 ms	24 ms	90.96.135.219.broad.fs.gd.dynamic.163data.com.cn [219.135.96.90]
9	31 ms	25 ms	25 ms	14.29.117.234
10	*	*	*	请求超时。
11	27 ms	25 ms	25 ms	www.baidu.com [14.215.177.39]

跟踪完成。

# 1.4 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量

## ■ “真实的” 因特网的延迟和路由

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

从gaia.cs.umass.edu 到 cs-gw.cs.umass.edu 的三次时延测量

```

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
    
```

trans-oceanic link

\* 意味着没有响应 (可能是丢失了, 路由器没有响应)

2020年11月24日

Tuesday

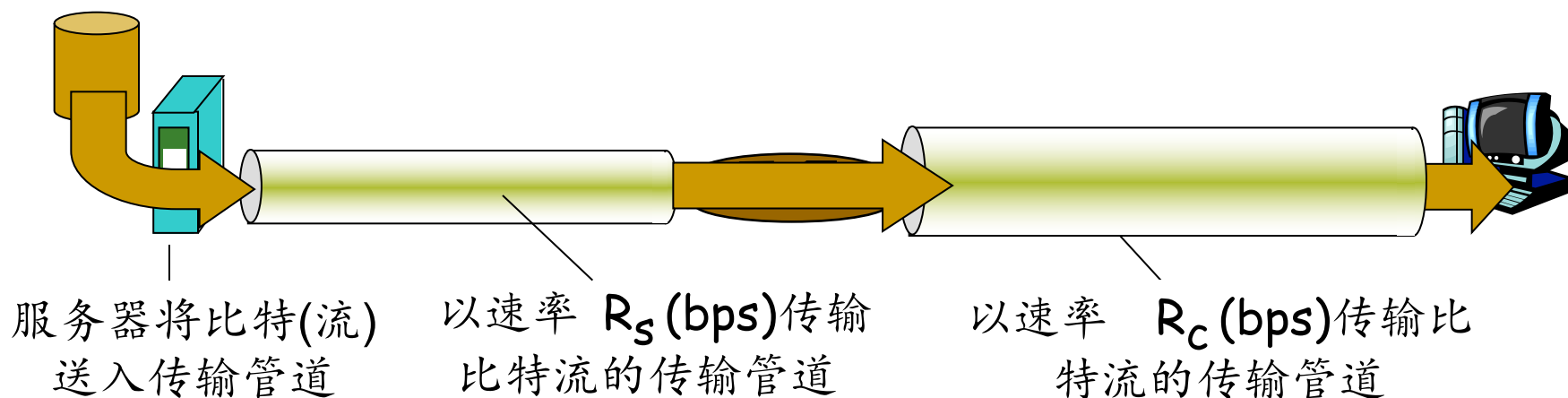
## 1.4 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量

### ■ 分组丢失的原因和后果

- 缓存中队列的容量是有限的
- 当分组到达时队列已满，则分组被丢弃(丢失)
- 丢失的分组可能会被前一个节点、源端系统重新传输，或者根本不重传

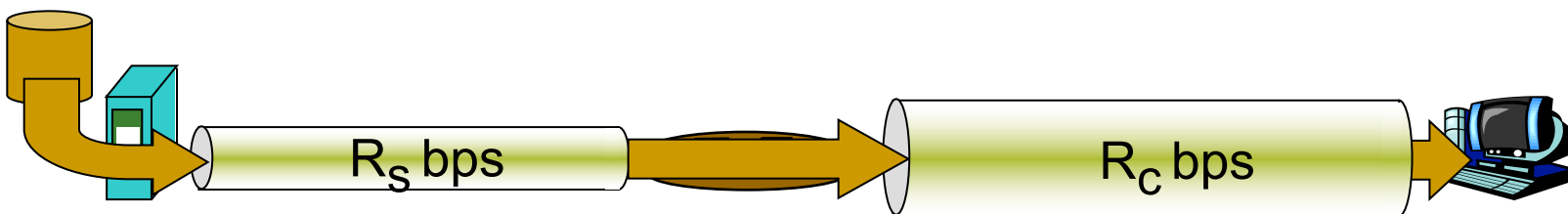
## 1.4 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量

- 吞吐量：在发送方与接收方之间传输比特的速率 (bps)
  - 瞬时吞吐量：接收方接受数据的速率(bps)
  - 平均吞吐量：主机接受Fbit用去T秒， $F/T$ bps

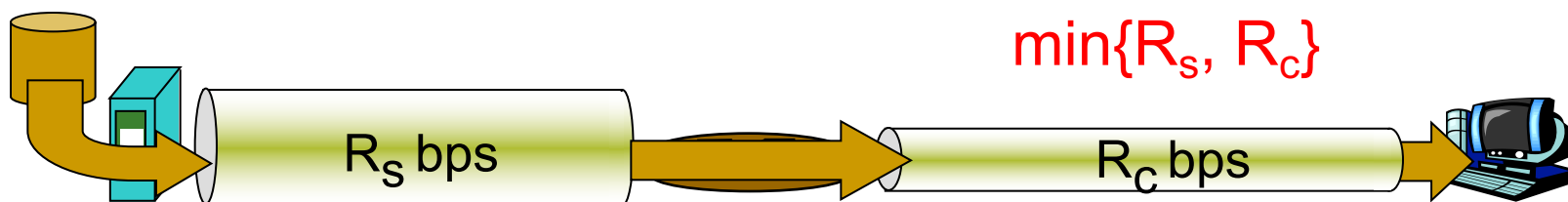


# 1.4 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量

■  $R_s < R_c$  端到端平均吞吐量是多少？



□  $R_s > R_c$  端到端平均吞吐量又是多少？

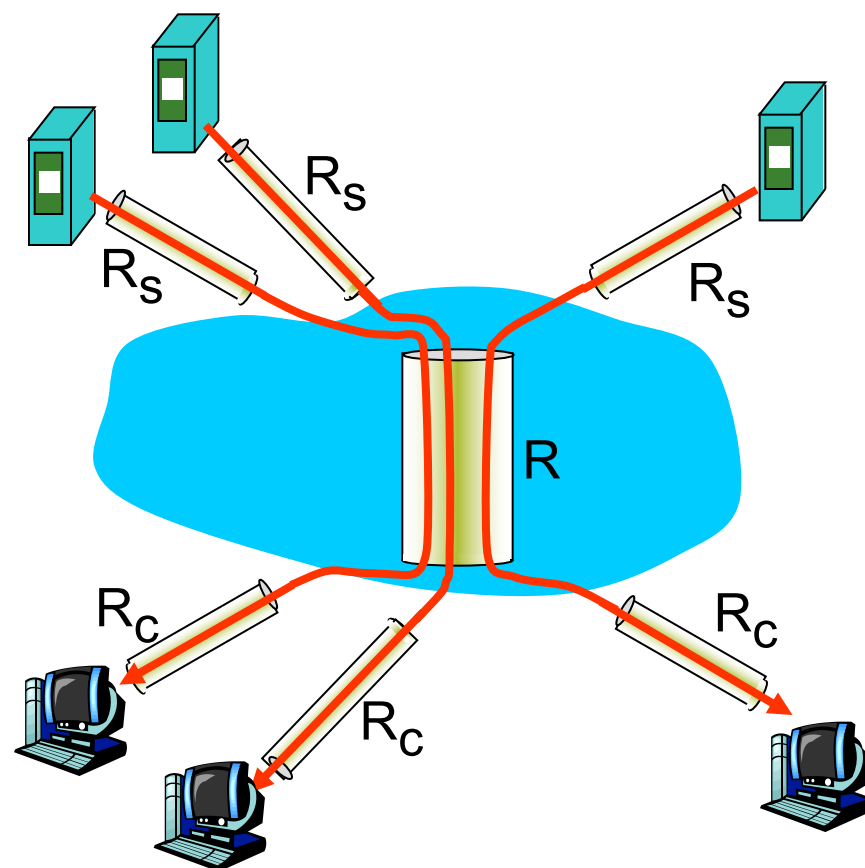


## 瓶颈链路

在端到端路径上限制了端到端平均吞吐量的那一段链路

# 1.4 分组交换网络中的时延、丢包和吞吐量

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



10 个客户从10个服务器下载文件，连接共享骨干瓶颈链路  $R$  bps

## 1.5 协议层次和服务模型

### ■ 协议的“层次”

#### □ 现实：网络的复杂性

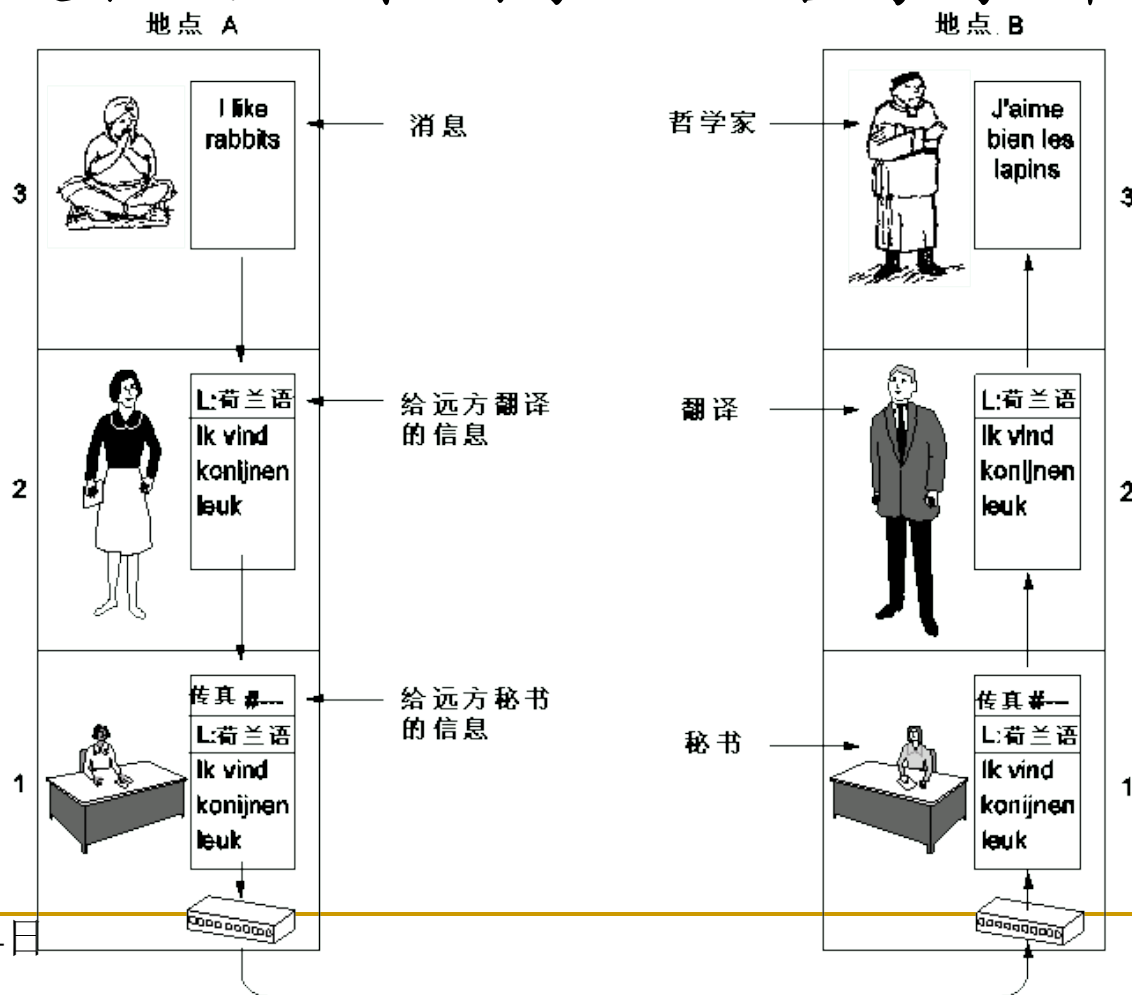
- 主机、路由器、各种介质构成的链路、应用程序、协议、软硬件.....

#### □ 问题：

- 如何将复杂的网络依据一定的规则组织成有序结构？
- 如何为讨论网络形成一个共同的基础？

## 1.5 协议层次和服务模型

### ■ 层次通信的一个例子——哲学家聊天





## 1.5 协议层次和服务模型

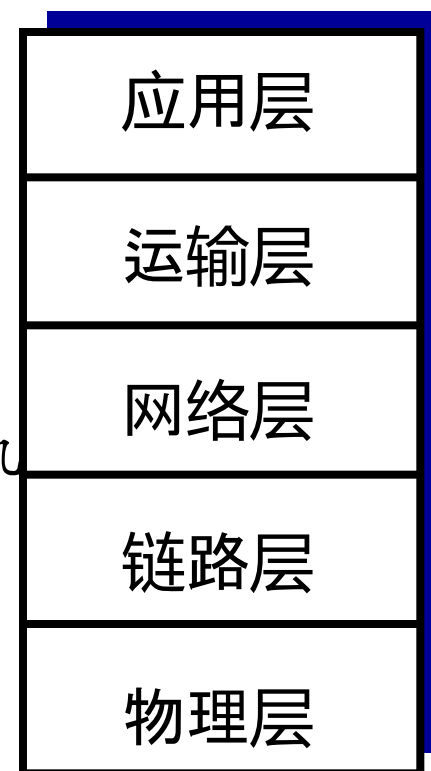
### ■ 分层的理由

- 对于处理复杂的系统：
  - 显式的结构使得复杂系统的问题定位和不同组成部分之间的关联讨论成为可能
    - 分层的参考模型(reference model) 可用于讨论
  - 模块化简化了系统的维护和升级
    - 某个层次服务实现的改变对系统的其余部分是透明的
    - 如：改变秘书之间的通话过程不会影响哲学家通信的效果
- 分层的做法有没有坏处？

## 1.5 协议层次和服务模型

### ■ 因特网的协议栈

- **应用层**: 支持网络应用
  - FTP, SMTP, HTTP
- **运输层**: 进程间的数据传输
  - TCP, UDP
- **网络层**: 将数据报从源主机传送到目的主机
  - IP, 路由协议
- **链路层**: 数据在网络相邻结点之间传输
  - PPP, 以太网
- **物理层**: 在线路上传输比特流



# 1.5 协议层次和服务模型

## ■ ISO/OSI参考模型

- **表示层**: 允许应用程序解释数据的含义，如：加密、压缩、特定机器的数据描述方法
- **会话层**: 提供了数据交换的同步、定界、建立检查点和恢复的能力
- 因特网“并没有”这两层!
  - 这些服务，完全可以由应用程序实现
  - 选择的权利交给了应用程序开发者



## 1.5 协议层次和服务模型

### ■ 基本概念

#### □ 实体(Entity)

- 实体是任何可以发送和接收信息的硬件和软件进程。  
通常是一个特定的软件模块

#### □ 对等体(Peer)

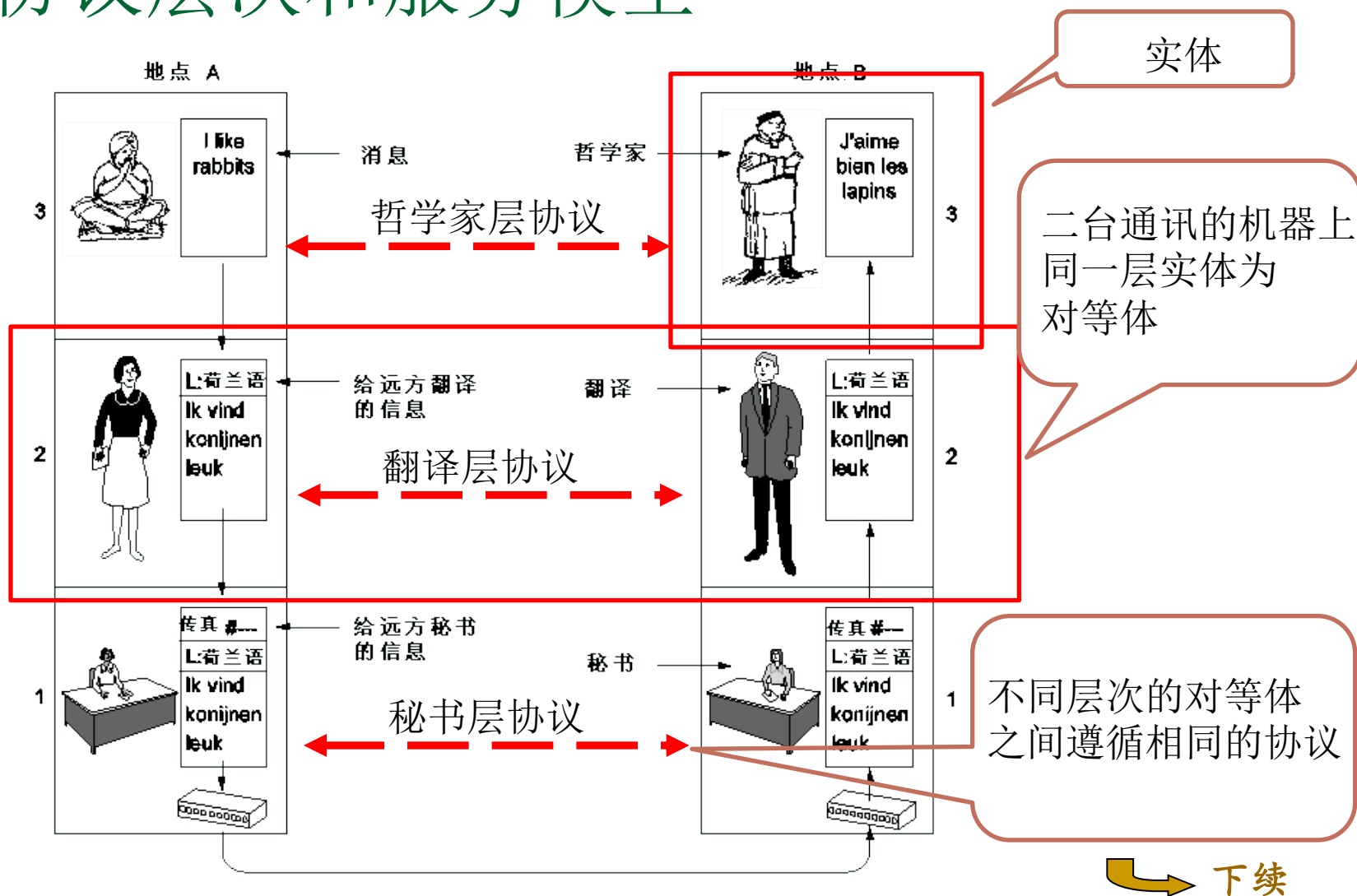
- 不同机器上包含对应层的实体称为对等体

#### □ 协议(Protocol)

- 语法，即数据与控制信息的结构或格式
- 语义，即需发现何种控制信息，完成何种动作以及做出何种应答
- 同步，即事件实现顺序的详细说明



# 1.5 协议层次和服务模型



## 1.5 协议层次和服务模型

### ■ 基本概念

#### □ 服务(Service)

- 为保证上层对等体之间能互相通信，下层向上层提供的功能。

#### □ 服务原语

- 服务原语是指网络相邻层间进行交互时所要交换的一些必要命令

#### □ 服务访问点(SAP)

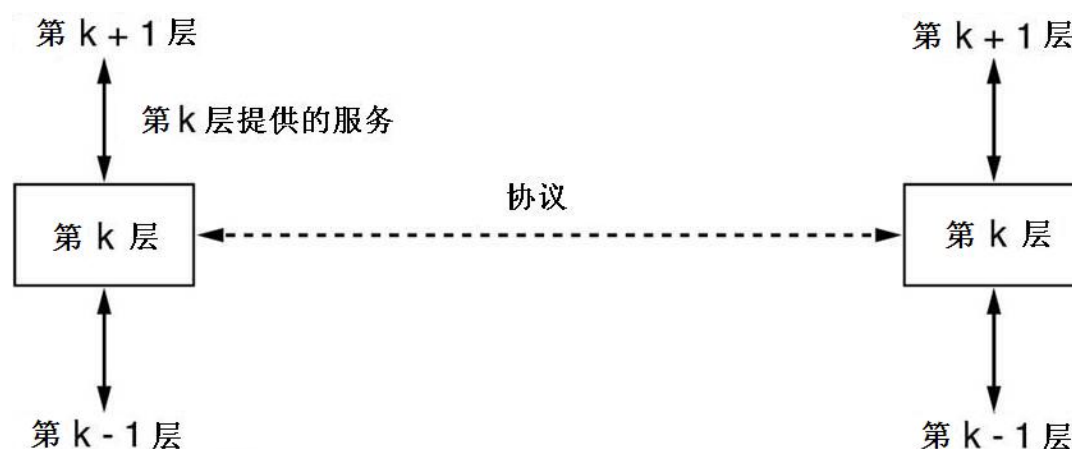
- 服务访问点是同一系统中相邻两层的实体进行交互的地方



# 1.5 协议层次和服务模型

## ■ 基本概念

### □ 协议和服务的关系



### □ 接口 (Interface)

- 接口位于每对相邻层之间，定义了下层向上层提供的原语操作和服务



## 1.5 协议层次和服务模型

### ■ 基本概念

#### □ 协议数据单元(PDU)

- 协议数据单元是对等层次上传送数据的单位

#### □ 服务数据单元(SDU)

- 服务数据单元是层与层之间交换数据的单位

#### □ 网络体系结构(Network Architecture)

- 网络体系结构就是层和协议的集合

#### □ 协议栈(Protocol Stack)

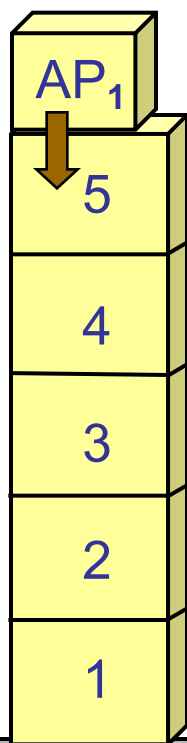
- 一个特定的系统所使用的一组协议（每层一个协议）称为协议栈



## 1.5 协议层次和服务模型

### ■ 计算机网络体系结构中数据的流动

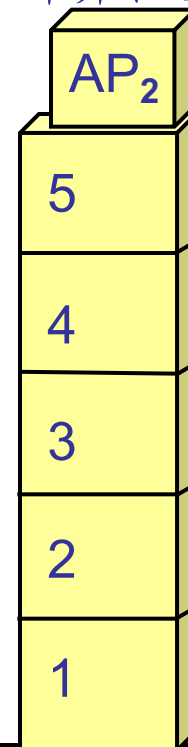
计算机 1



应用进程数据先传送到第5层

加上第5层首部，成为第5层 PDU

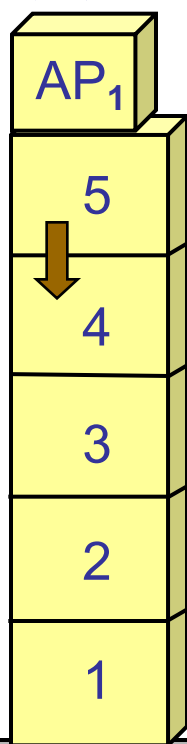
计算机 2



## 1.5 协议层次和服务模型

### ■ 计算机网络体系结构中数据的流动

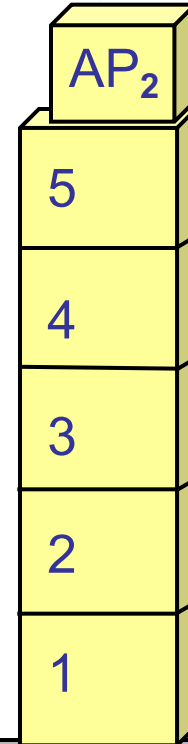
计算机 1



第5层 PDU 再传送到第4层

加上第4层首部，成为第4层PDU

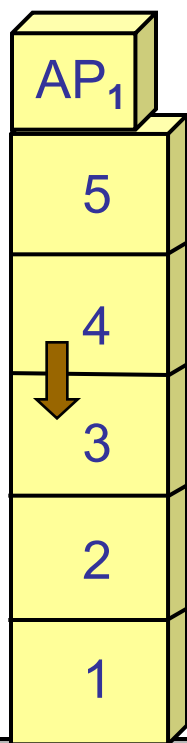
计算机 2



## 1.5 协议层次和服务模型

### ■ 计算机网络体系结构中数据的流动

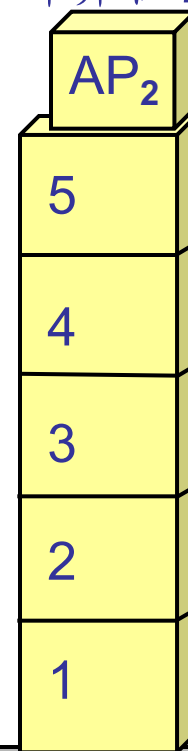
计算机 1



第4层PDU再传送到第3层

加上第3层首部，成为第3层PDU

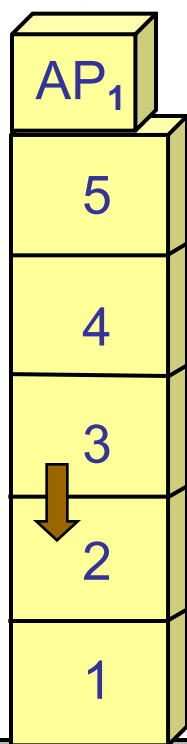
计算机 2



## 1.5 协议层次和服务模型

### ■ 计算机网络体系结构中数据的流动

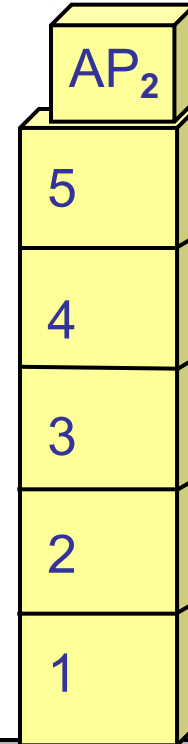
计算机 1



第3层PDU再传送到第2层

加上第2层首部和尾部，成为第2层PDU

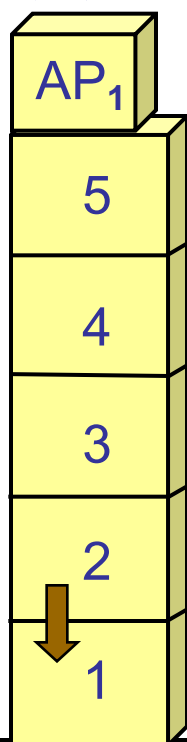
计算机 2



## 1.5 协议层次和服务模型

### ■ 计算机网络体系结构中数据的流动

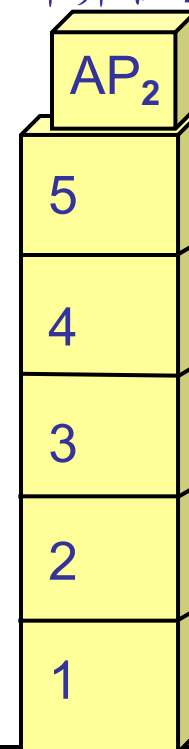
计算机 1



第2层PDU再传送到第1层

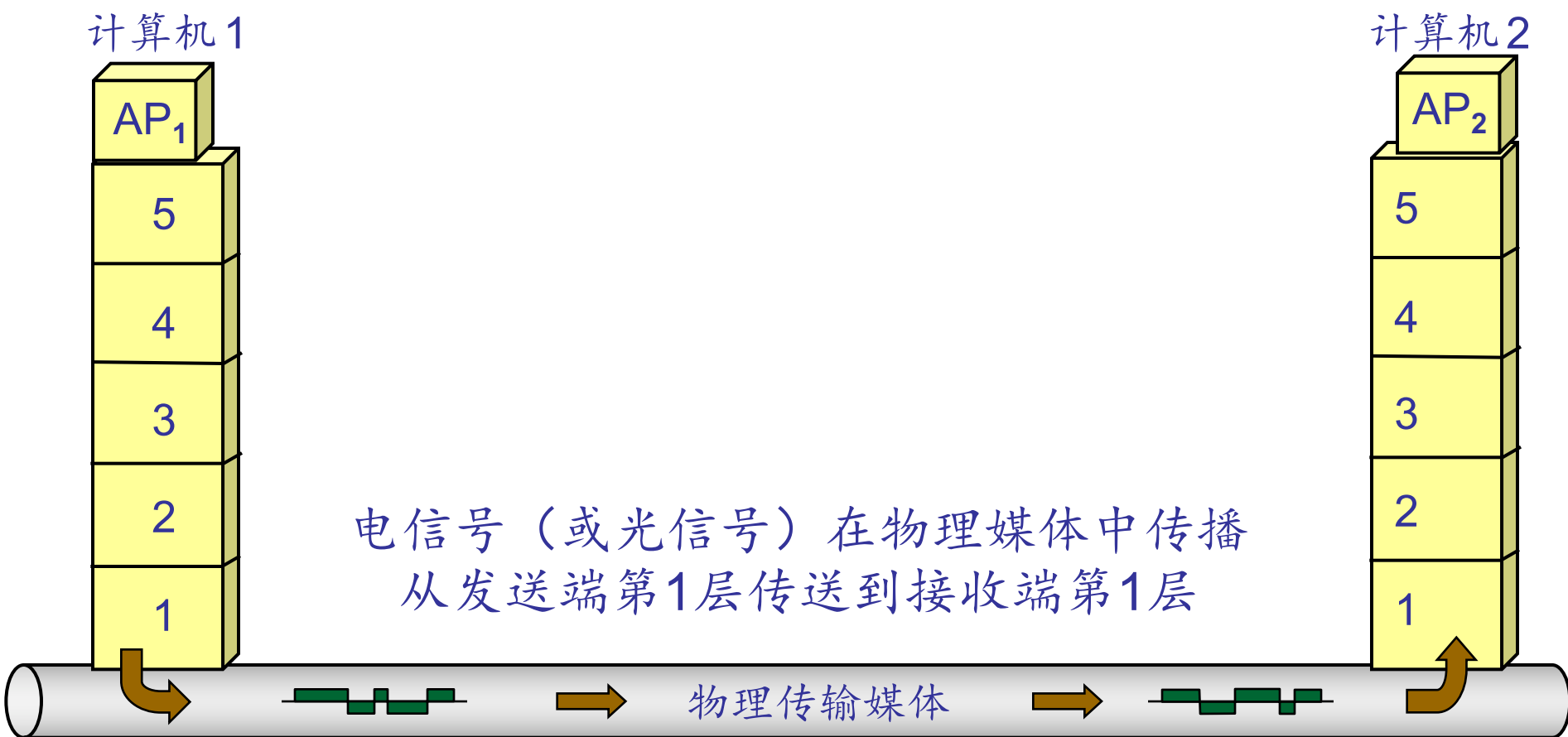
最下面的第1层把比特流传送到物理媒体

计算机 2



## 1.5 协议层次和服务模型

### ■ 计算机网络体系结构中数据的流动



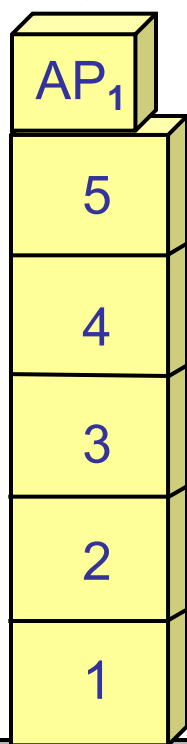
2020年11月24日

Tuesday

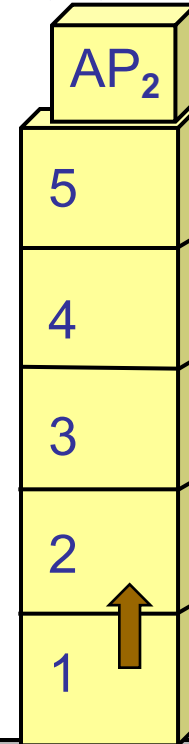
## 1.5 协议层次和服务模型

### ■ 计算机网络体系结构中数据的流动

计算机 1



计算机 2

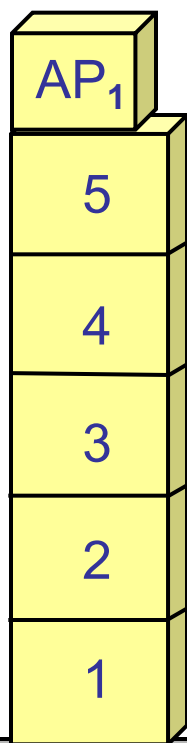


第1层接收到比特流，上交给第2层

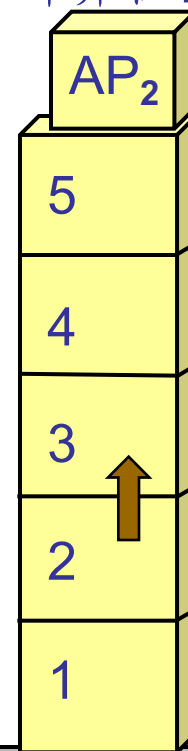
## 1.5 协议层次和服务模型

### ■ 计算机网络体系结构中数据的流动

计算机 1



计算机 2



第2层剥去首部和尾部  
取出数据部分，上交给第3层

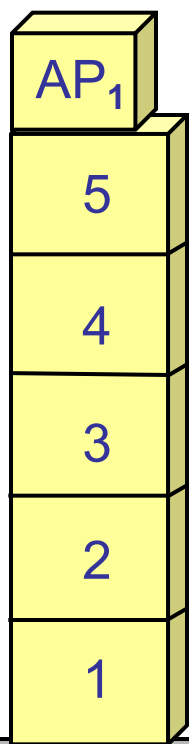




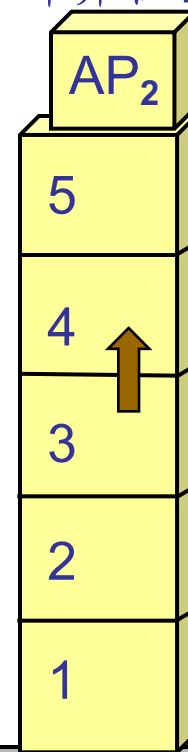
## 1.5 协议层次和服务模型

### ■ 计算机网络体系结构中数据的流动

计算机 1



计算机 2

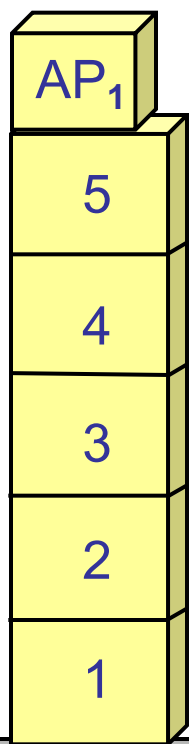


第3层剥去首部，取出数据部分  
上交给第4层

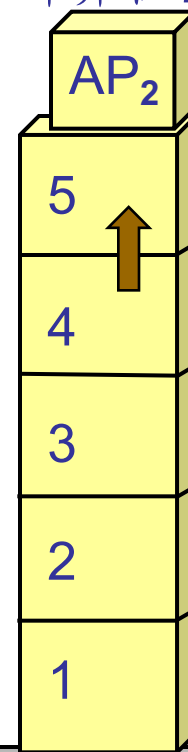
## 1.5 协议层次和服务模型

### ■ 计算机网络体系结构中数据的流动

计算机 1



计算机 2

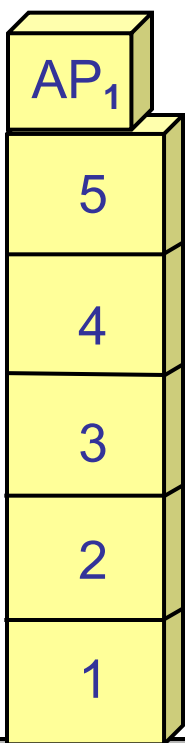


第4层剥去首部，取出数据部分  
上交给第5层

## 1.5 协议层次和服务模型

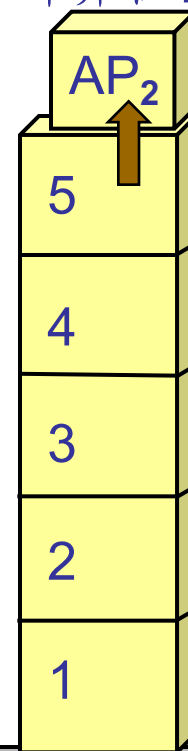
### ■ 计算机网络体系结构中数据的流动

计算机 1



第5层剥去首部，取出应用程序数据  
上交给应用进程

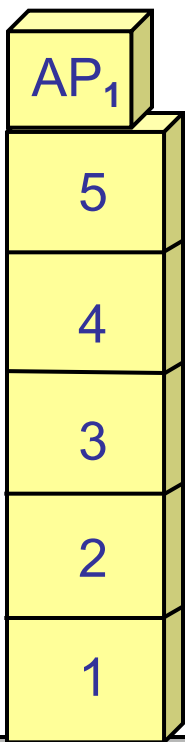
计算机 2



## 1.5 协议层次和服务模型

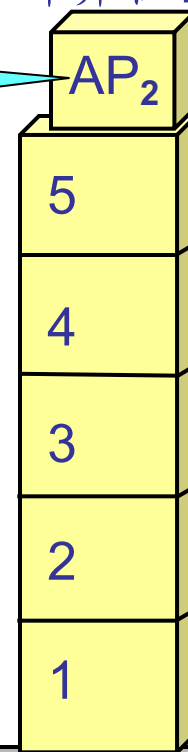
### ■ 计算机网络体系结构中数据的流动

计算机 1



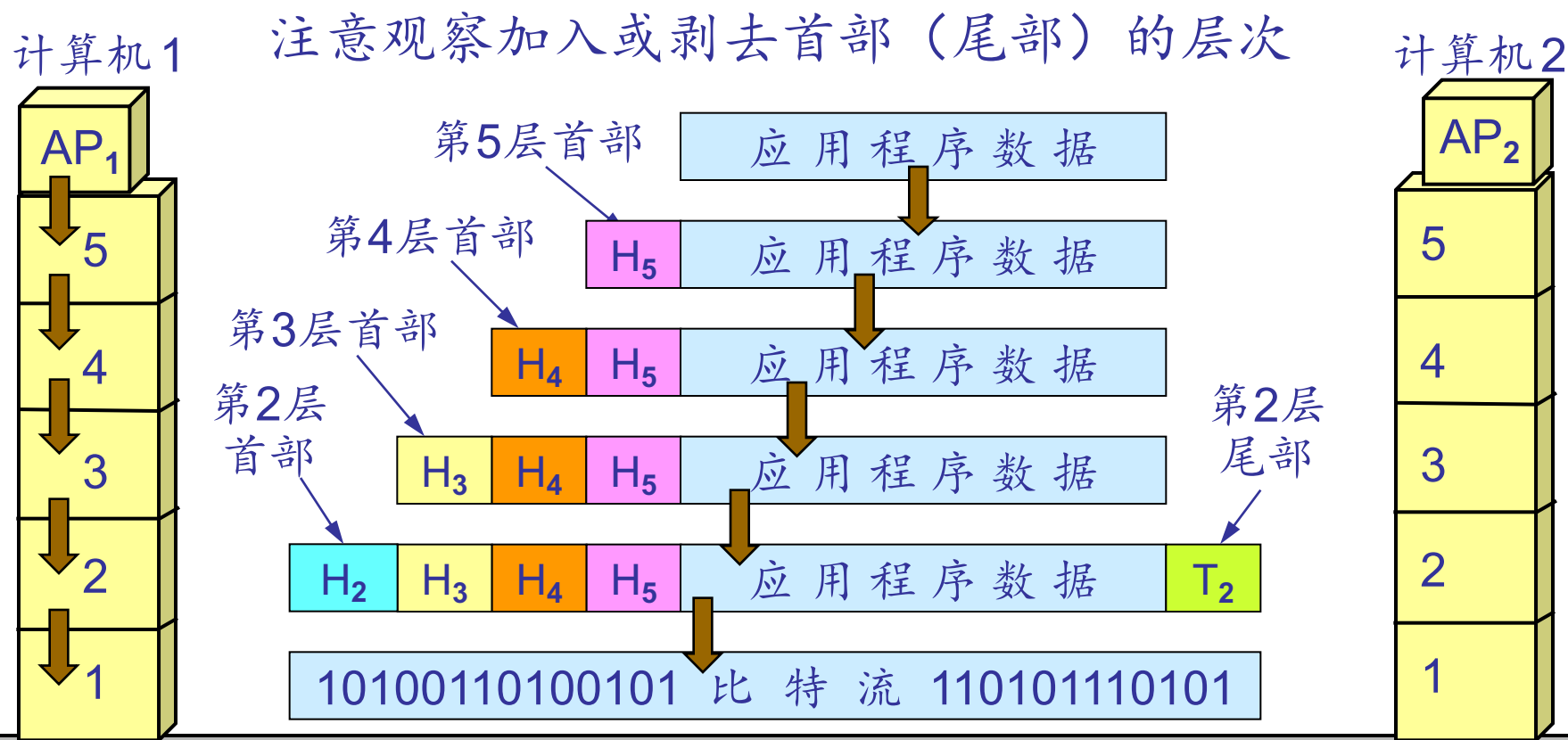
我收到了  $AP_1$  发来的  
应用程序数据!

计算机 2



# 1.5 协议层次和服务模型

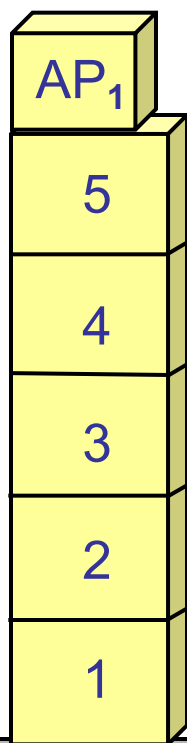
## ■ 计算机网络体系结构中数据的流动



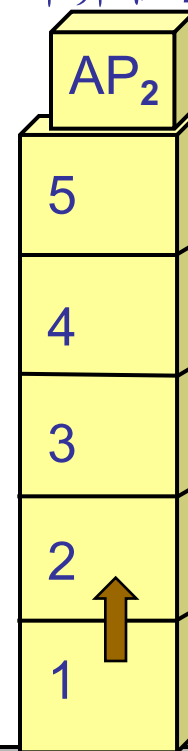
# 1.5 协议层次和服务模型

## ■ 计算机网络体系结构中数据的流动

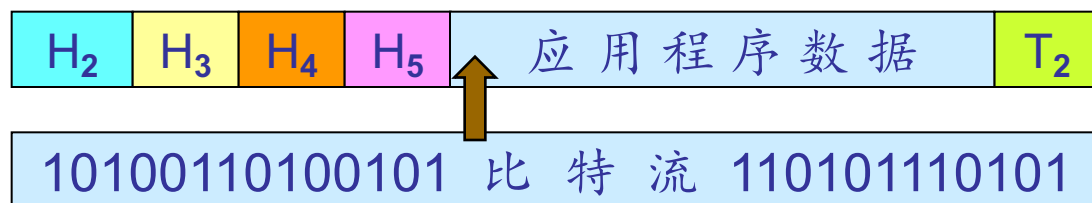
计算机 1



计算机 2



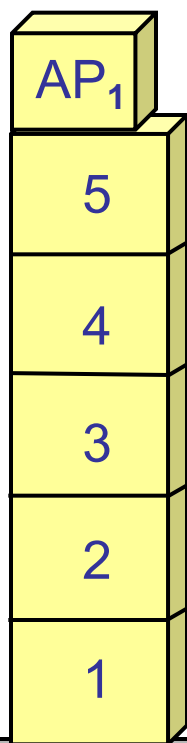
计算机 2 的第1层收到比特流后  
交给第2层



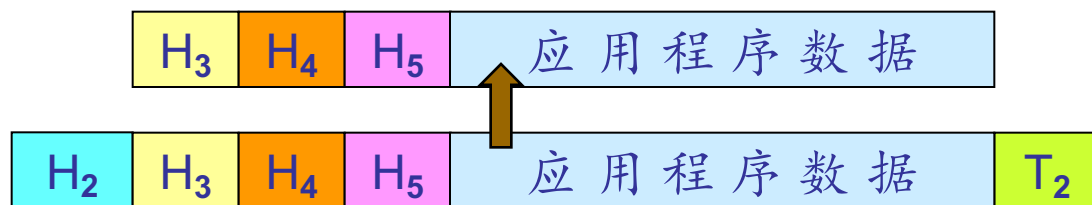
# 1.5 协议层次和服务模型

## ■ 计算机网络体系结构中数据的流动

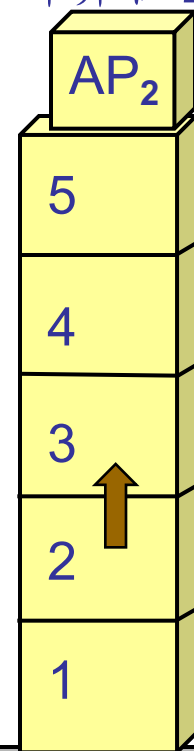
计算机1



第2层剥去首部和尾部后  
把数据部分交给第3层



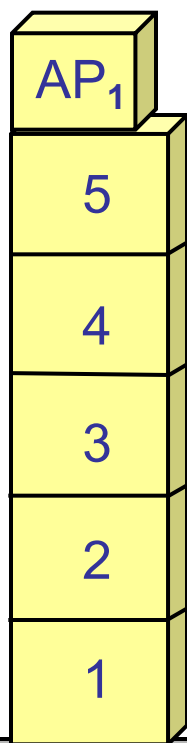
计算机2



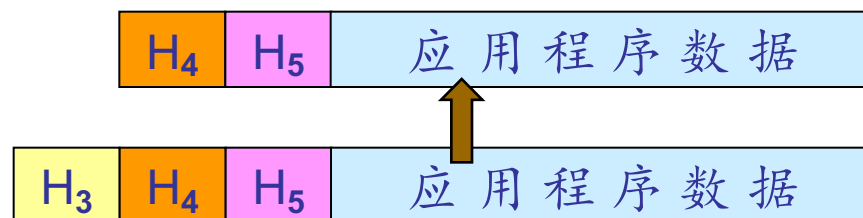
# 1.5 协议层次和服务模型

## ■ 计算机网络体系结构中数据的流动

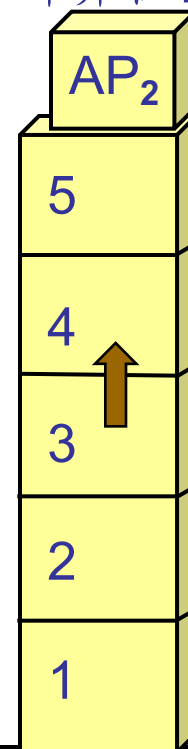
计算机 1



第3层剥去首部后  
把数据部分交给第4层



计算机 2

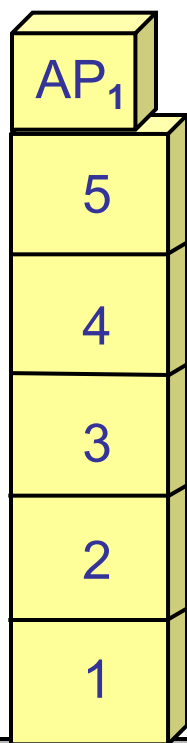




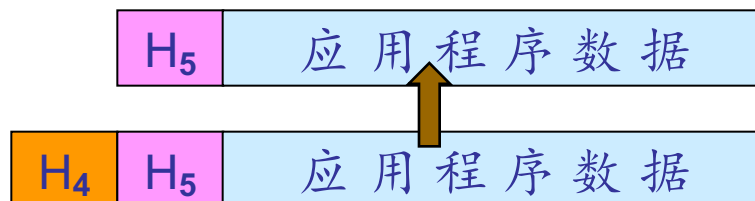
# 1.5 协议层次和服务模型

## ■ 计算机网络体系结构中数据的流动

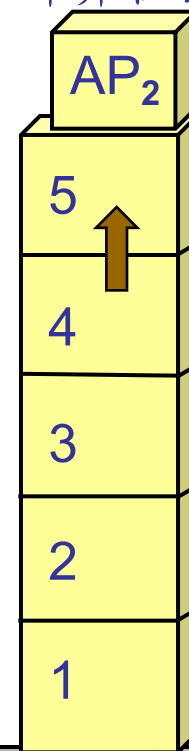
计算机1



第4层剥去首部后  
把数据部分交给第5层



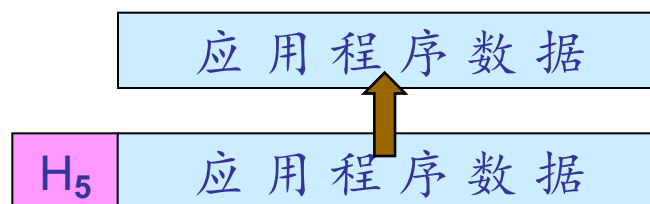
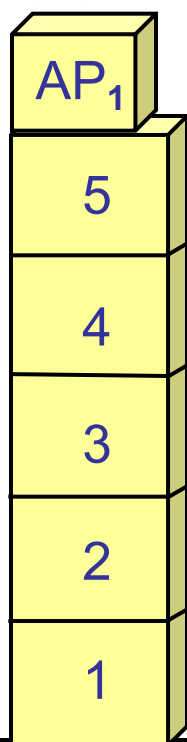
计算机2



## 1.5 协议层次和服务模型

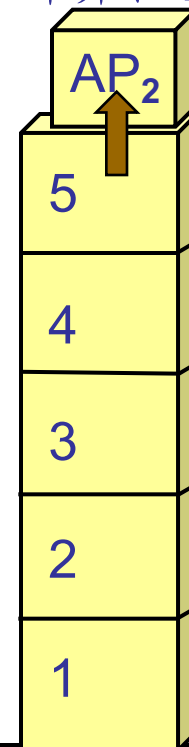
### ■ 计算机网络体系结构中数据的流动

计算机 1



第5层剥去 PDU 首部后  
把应用程序数据交给应用进程

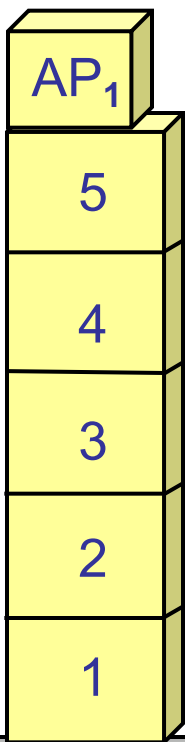
计算机 2



## 1.5 协议层次和服务模型

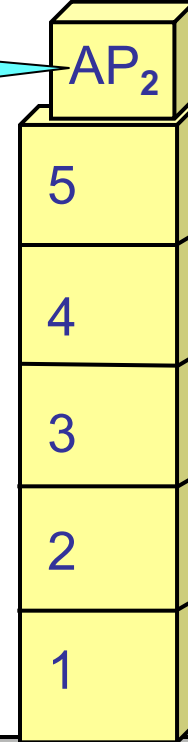
### ■ 计算机网络体系结构中数据的流动

计算机 1



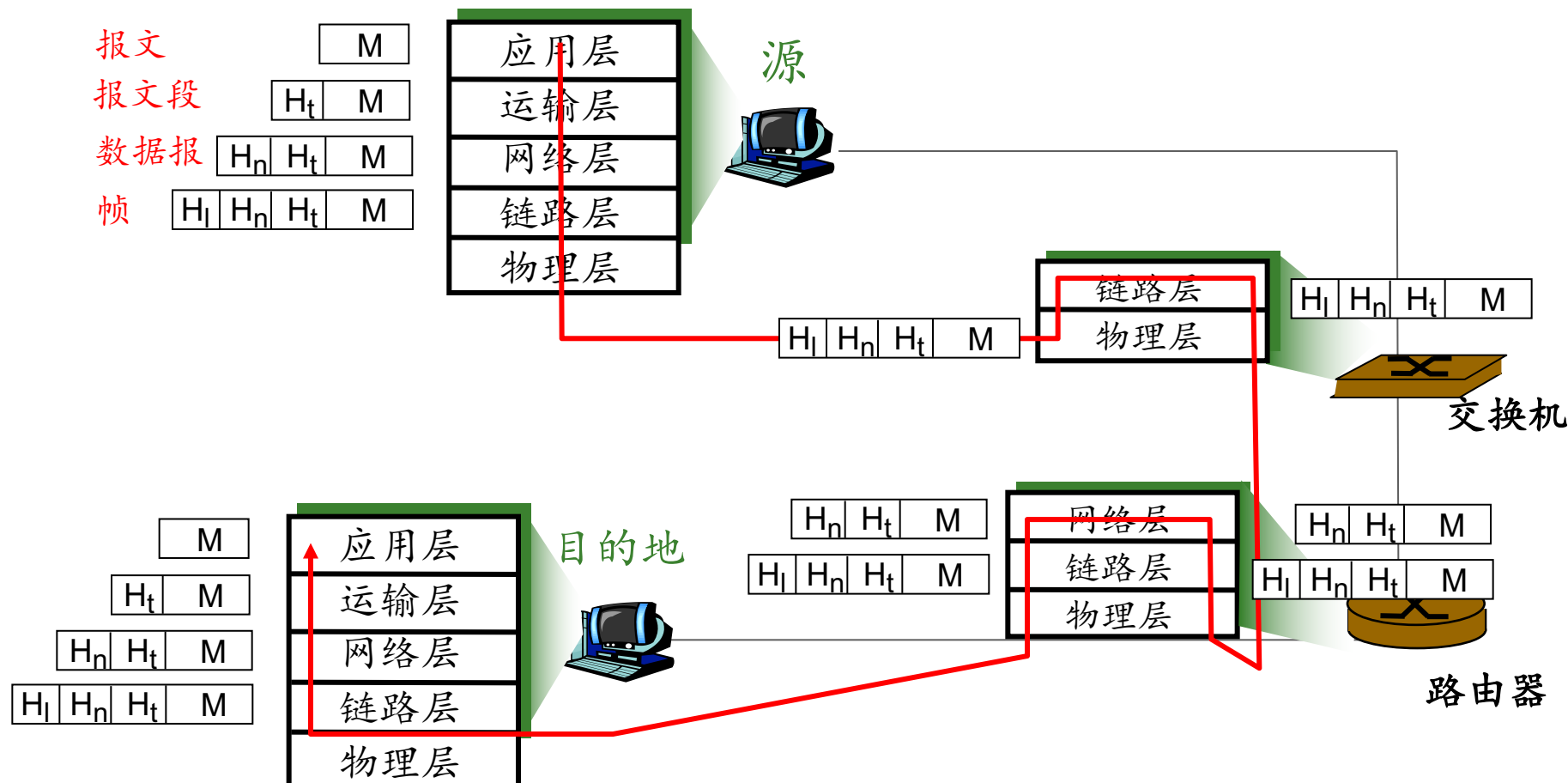
我收到了 AP<sub>1</sub> 发来的  
应用程序数据!

计算机 2



# 1.5 协议层次和服务模型

## 封装



2020年11月24日

Tuesday

## 1.6 攻击威胁下的网络

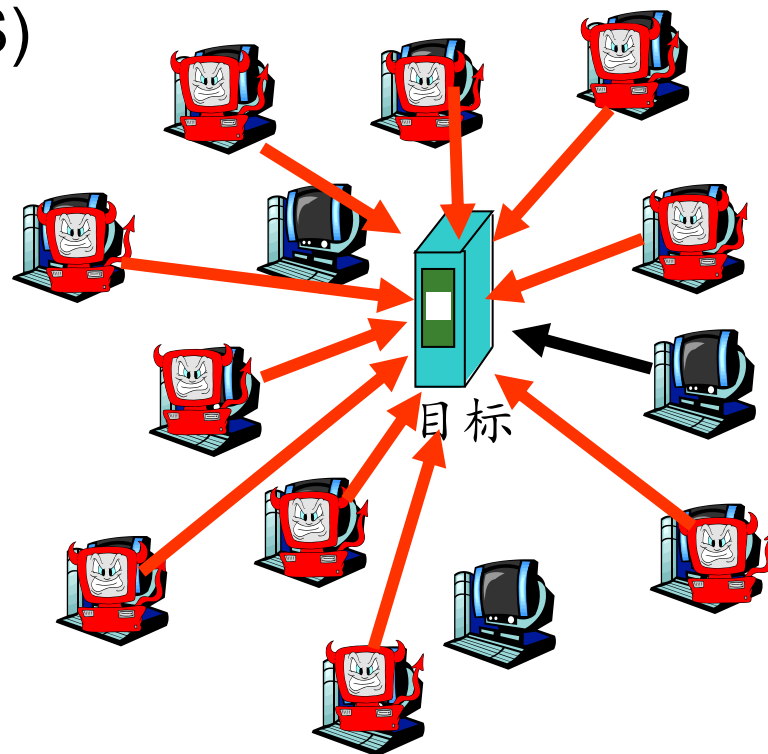
- 网络安全领域主要探讨以下问题
  - 坏家伙如何攻击计算机网络
  - 我们如何防御网络免受攻击
  - 如何设计免除攻击的新型体系结构
- 因特网在设计之初就没有考虑过安全问题
  - 早期观点：一群相互信任的用户连接到一个透明的网络上 😊
  - 因特网协议设计者在不停地打补丁
  - 安全问题其实应该贯穿每一层！

## 1.6 攻击威胁下的网络

- 坏家伙能够通过因特网将恶意软件放入你的计算机
  - 恶意软件能够通过病毒、蠕虫或者特洛伊木马进入你的计算机
  - 间谍性质的恶意软件能够记录你的击键、访问的WEB站点等等，并且能够将所搜集的信息向特定站点上传
  - 受感染的主机将会成为僵尸网络的成员，将会被投放垃圾信息或者用于DDoS攻击
  - 恶意软件通常都是自我复制的：从一台受感染的主机，自动寻觅路径进入更多的主机

## 1.6 攻击威胁下的网络

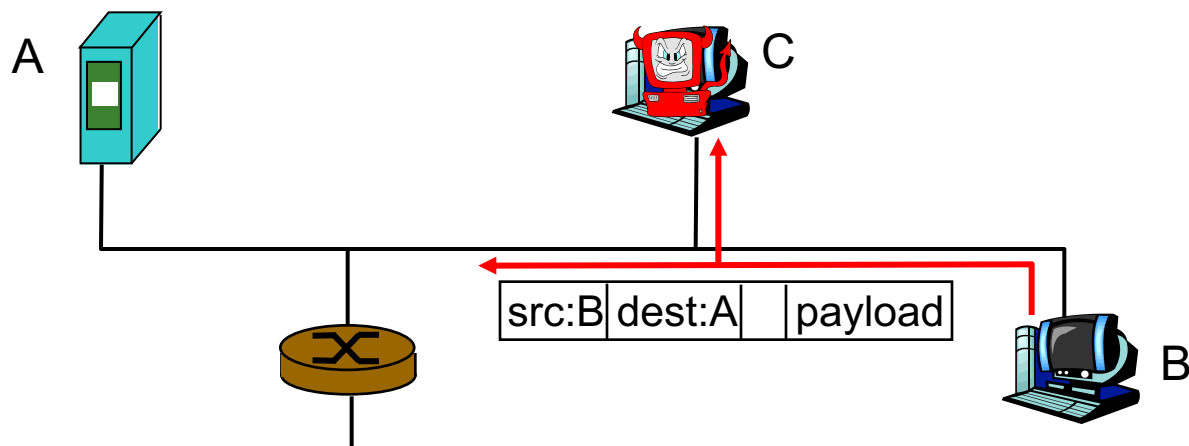
- 坏家伙能够攻击服务器和网络基础设施
  - 拒绝服务攻击(DoS)
  - 分布式拒绝服务攻击(DDoS)



## 1.6 攻击威胁下的网络

### ■ 坏家伙能够嗅探分组

- 广播介质（共享式的以太网、无线网）
- 通过多种接口读取并记录通过的所有数据包

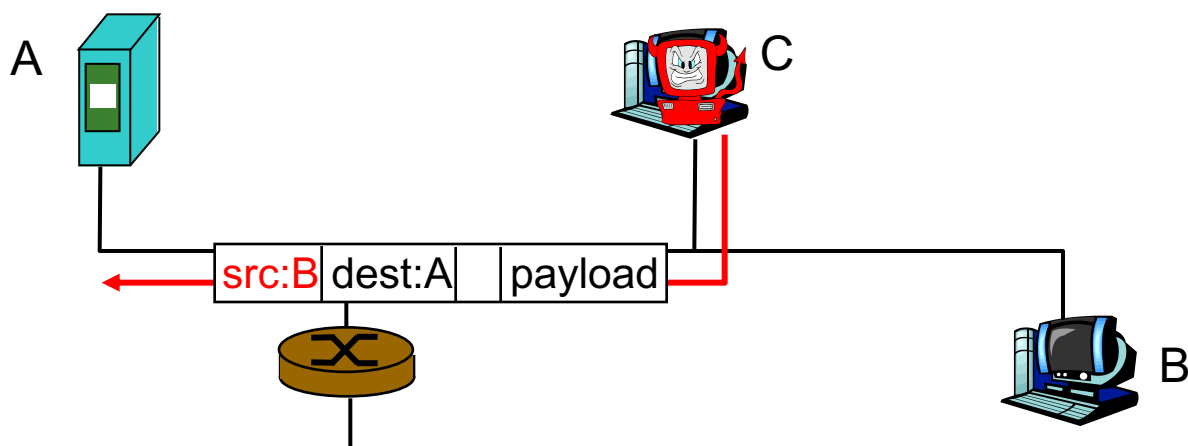


- Sniffer Pro、WireShark



## 1.6 攻击威胁下的网络

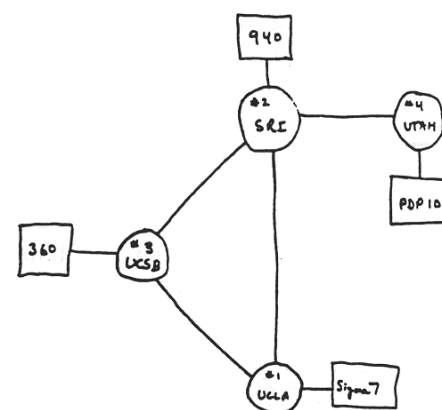
- 坏家伙能够伪装成你信任的人



# 1.7 计算机网络和因特网的历史

## ■ 分组交换的发展：1961-1972

- 1961: Kleinrock -使用排队论证明分组交换网络在数据通信方面的优越性
- 1964: Baran -在军用网络中实现分组交换
- 1967: ARPA构思了ARPAnet
- 1969:首个ARPAnet 结点运行
- 1972:
  - ARPAnet 向公众展示
  - NCP (Network Control Protocol) 的协议
  - 首个电子邮件程序运行
  - ARPAnet有了15结点



THE ARPA NETWORK

## 1.7 计算机网络和因特网的历史

### ■ 专用网络和网际互联：1972-1980

- 1970: ALOHAnet 卫星网络, Hawaii
- 1973: Metcalfe在其博士论文中提出了Ethernet
- 1974: Cerf and Kahn -提出网络互连的体系结构
- 70年代末期: 厂商标准: DECnet, SNA, XNA
- 70年代末期: 交换固定长度的分组 (ATM 的先驱)
- 1979: ARPAnet有了 200 结点

## 1.7 计算机网络和因特网的历史

### ■ 网络的激增：1980-1990

- 1983: 开始使用 TCP/IP
- 1982: 定义了smtp e-mail 协议
- 1983: 定义了DNS 用于 name-to-IP-address 转换
- 1985: 定义了ftp 协议
- 1988: TCP 拥塞控制
- 新的国家级网络: Csnet, BITnet, NSFnet, Minitel
- 100,000 台主机加入到网络联盟中

## 1.7 计算机网络和因特网的历史

### ■ 因特网爆炸：20世纪90年代

- 90年代早期: ARPA网退役
- 1991: NSF放宽了NSFnet上商业应用的限制 (1995年退役)
- 90年代早期: Web
  - 超文本 [Bush 1945, Nelson 1960's]
  - HTML, HTTP: Berners-Lee
  - 1994: Mosaic, 其后是NetScape
  - 90年代后期: 商业化
- 1990年后到2000以后:
  - 更多关键应用: 即时通信, P2P 文件共享
  - 网络安全问题日益重要
  - 估计拥有5000万台主机, 超过一亿的用户群
  - 主干链路速率达到Gbps

## 1.7 计算机网络和因特网的历史

2005~今天:

- 约7.5亿主机——智能手机、平板
- 宽带接入和高速无线接入的大面积部署
- 在线社交网络的出现——Facebook、微信
- 服务提供者（谷歌、微软等）开始部署自己的网络
  - 独立于因特网，为用户访问搜索引擎、电子邮件等服务提供更及时更快速的用户体验
- 电子商务、大学、企业纷纷将其业务放到了“云”上面（如阿里云、腾讯云）

# 总结

## 本章覆盖了

- 因特网概述
- 什么是协议
- 网络边缘，核心，接入网
  - 分组交换与电路交换
  - 因特网架构
- 性能：丢失、时延和吞吐量
- 分层和服务模型
- 安全
- 历史

## 现在你已经：

- 对网络有了初步的认识和“感觉”
- 接下来的课程将在内容上更加深入，并会涉及到更多的细节

## 课后思考题

- 复习题 1、8、10、11、13、18、19、20、23、25
- 习 题 1、3、6、10、13、14、16、18、20-23、25-28、31、33



# 作 业

## ■ 习题

□ 13、25、31