



华中农业大学
HUAZHONG AGRICULTURAL UNIVERSITY



信息学院
College of Informatics

為了人類心智的榮耀

数据通信与网络

第 2 讲



1.2

互联网概述

1.2.1

网络的网络

1.2.2

互联网基础结构发展的三个阶段

1.2.3

互联网的标准化工作



1.2.1 网络的网络

- **计算机网络：**

- ◆ 由若干**节点**(node)和连接这些节点的**链路**(link)组成。
- ◆ **节点**可以是计算机、集线器、交换机或路由器等。

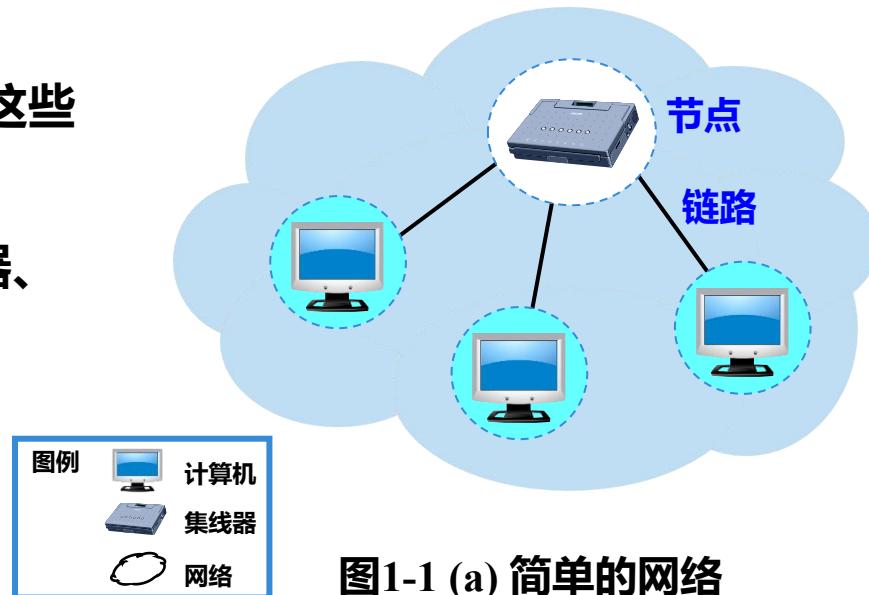


图1-1 (a) 简单的网络



1.2.1 网络的网络

- **互连网 (internetwork 或 internet)：**
 - ◆ 多个网络通过一些路由器相互通连接起来，构成了一个覆盖范围更大的计算机网络。
 - ◆ “**网络的网络**” (network of networks)。

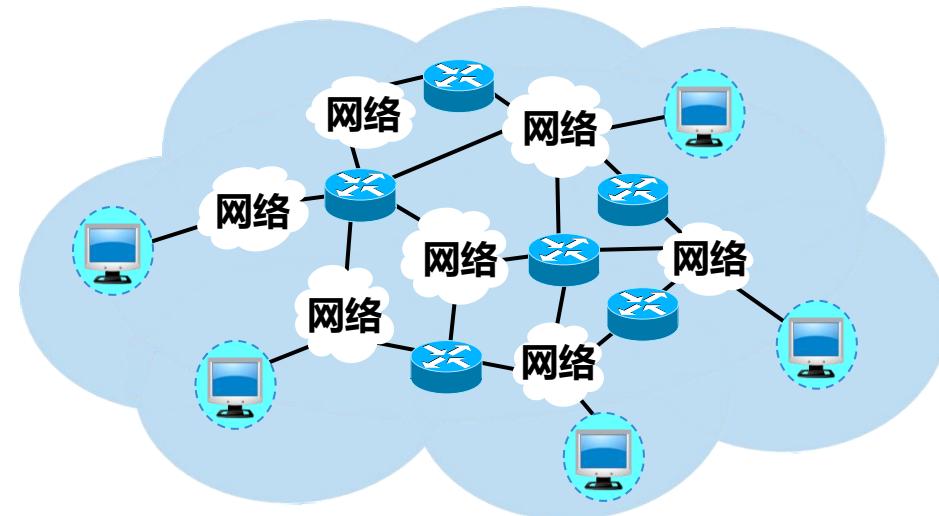
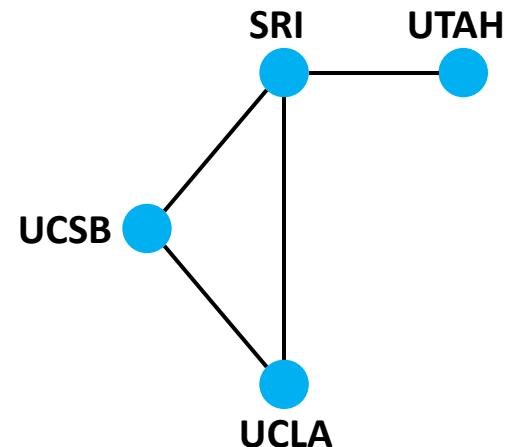


图1-1 (b) 由网络构成的互连网



第一阶段：1969 – 1990

- **ARPANET**: 最初只是一个单个的分组交换网，**不是一个互连网**。
- 1983 年，**TCP/IP 协议**成为 ARPANET 上的标准协议，使得所有使用 TCP/IP 协议的计算机都能利用互连网相互通信。
- 人们把 **1983 年作为互联网的诞生时间**。
- 1990 年，ARPANET 正式宣布关闭。

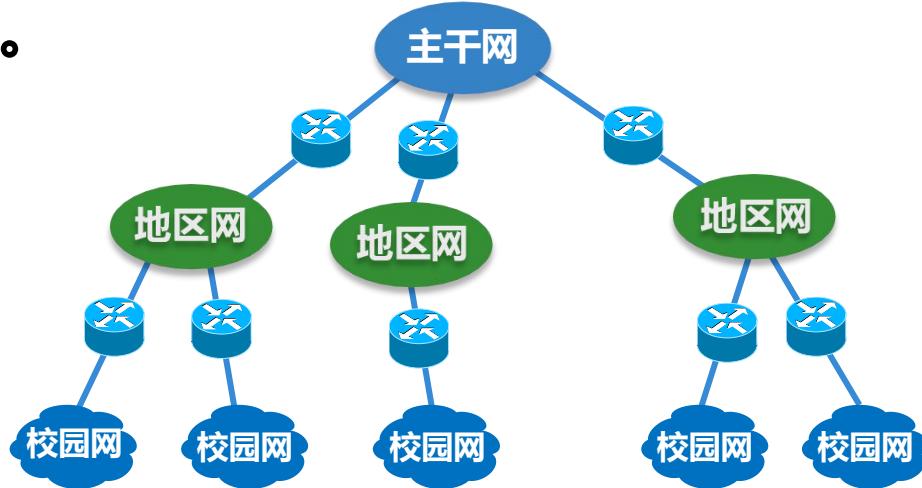


1969 年的 ARPANET



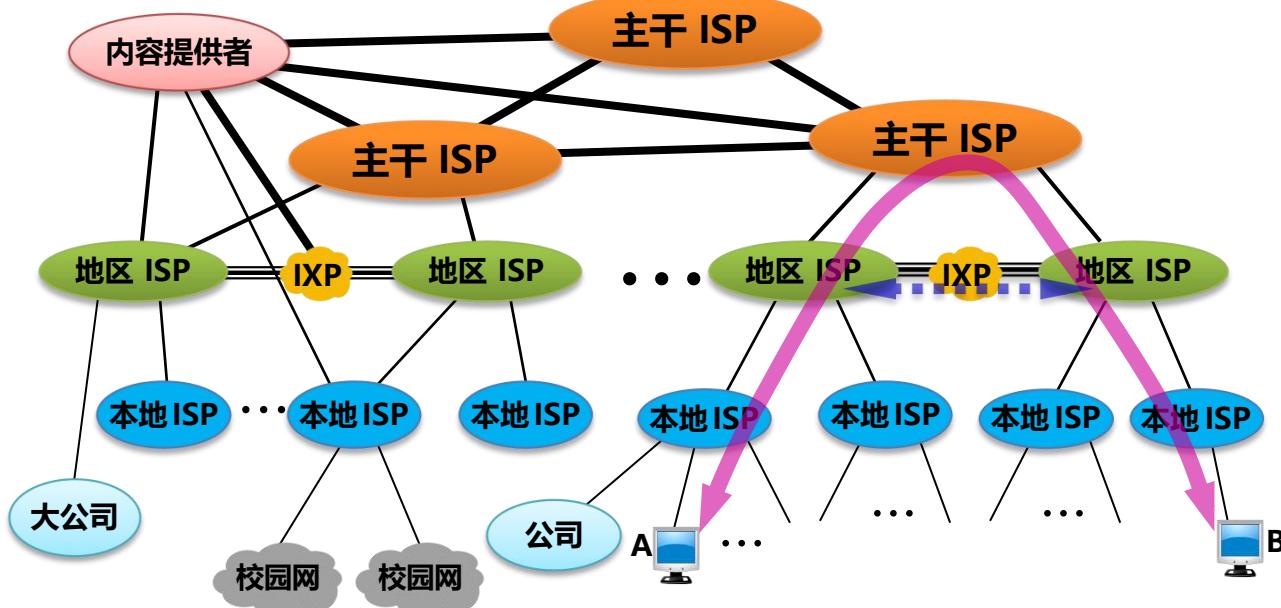
第二阶段：1985 – 1993

- 国家科学基金网 NSFNET。
- **三级结构：**主干网、地区网和校园网（或企业网）。
- 覆盖了全美国主要的大学和研究所，并且成为互联网中的主要组成部分。





第三阶段：1993 – 现在

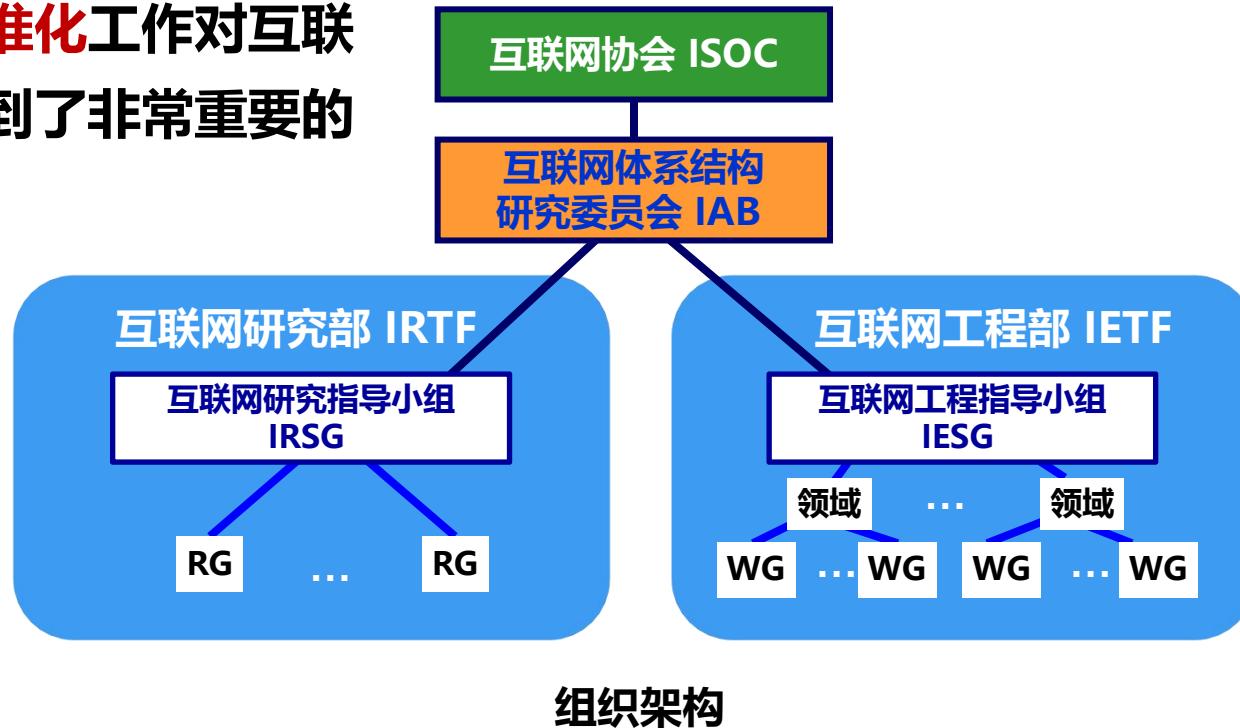


通信举例：主机A → 本地 ISP → 地区 ISP → 主干 ISP → 地区 ISP → 本地 ISP → 主机B



1.2.3 互联网的标准化工作

互联网的标准化工作对互联网的发展起到了非常重要的作用。





1.3

互联网的组成

1.3.1

互联网的边缘部分

1.3.2

互联网的核心部分



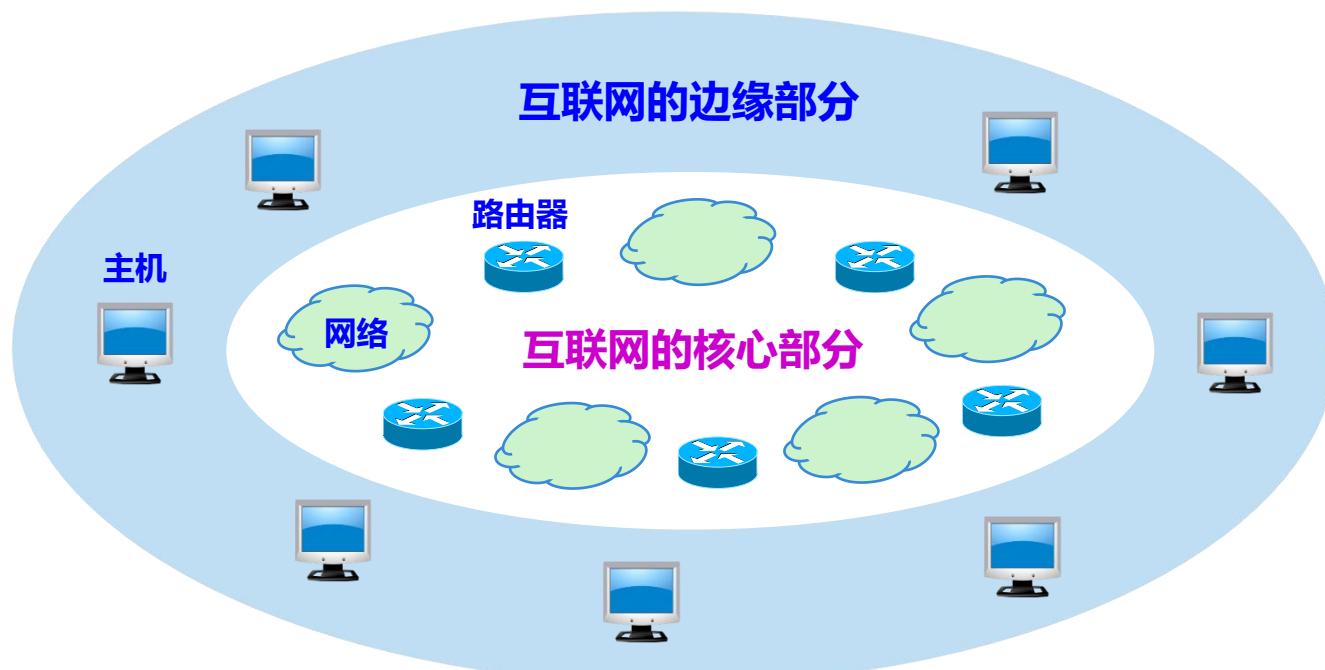
1.3 互联网的组成

从互联网的工作方式上看，可以划分为两大块：

- **边缘部分：**由所有连接在互联网上的**主机**组成，由用户直接使用，用来进行通信（传送数据、音频或视频）和资源共享。
- **核心部分：**由大量**网络**和连接这些网络的**路由器**组成，为边缘部分提供服务（提供连通性和交换）。

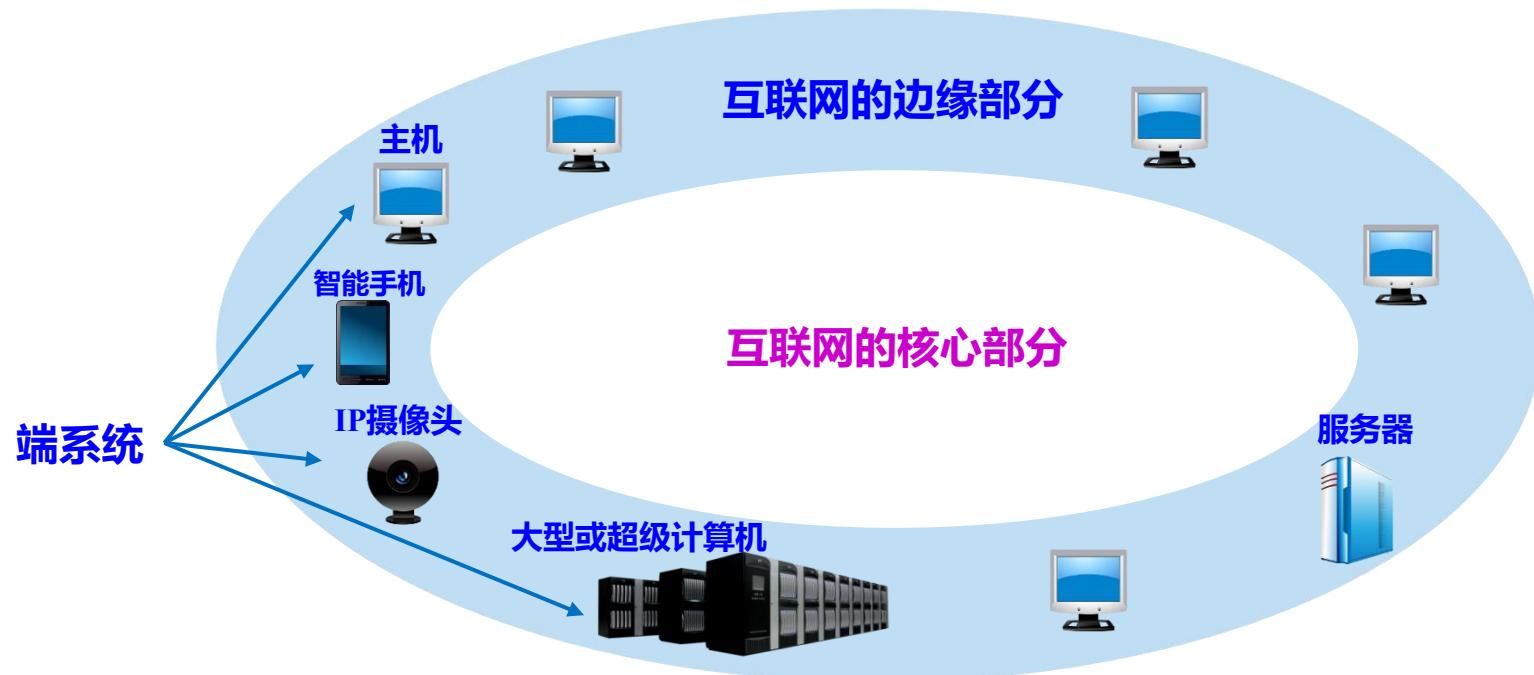


1.3 互联网的组成





1.3.1 互联网的边缘部分





“计算机之间通信”的含义

实际上是指：

主机 A 的某个进程和主机 B 上的另一个进程进行通信。

客户/服务器方式

- Client / Server 方式
- 简称为 C/S 方式

对等方式

- Peer to Peer 方式
- 简称为 P2P 方式

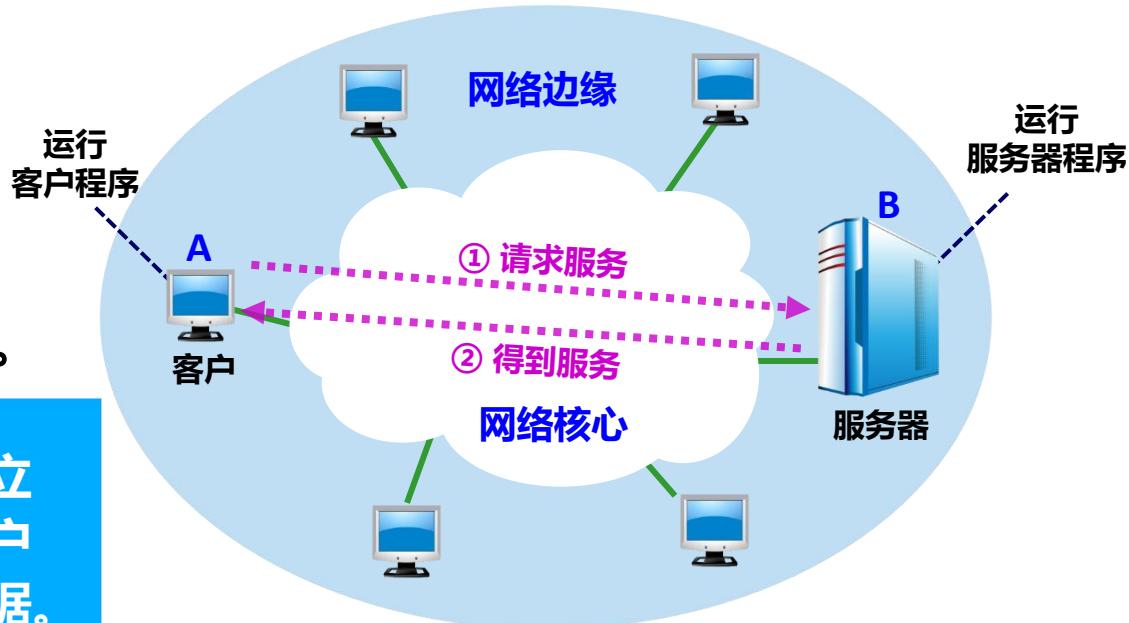
端系统之间的两种通信方式



1. 客户-服务器方式 (C/S 方式)

- 客户/服务器方式所描述的是**进程之间服务和被服务的关系**。
- 客户是服务的**请求方**，服务器是服务的**提供方**。

客户与服务器的通信关系建立后，通信可以是**双向的**，客户和服务器都可发送和接收数据。



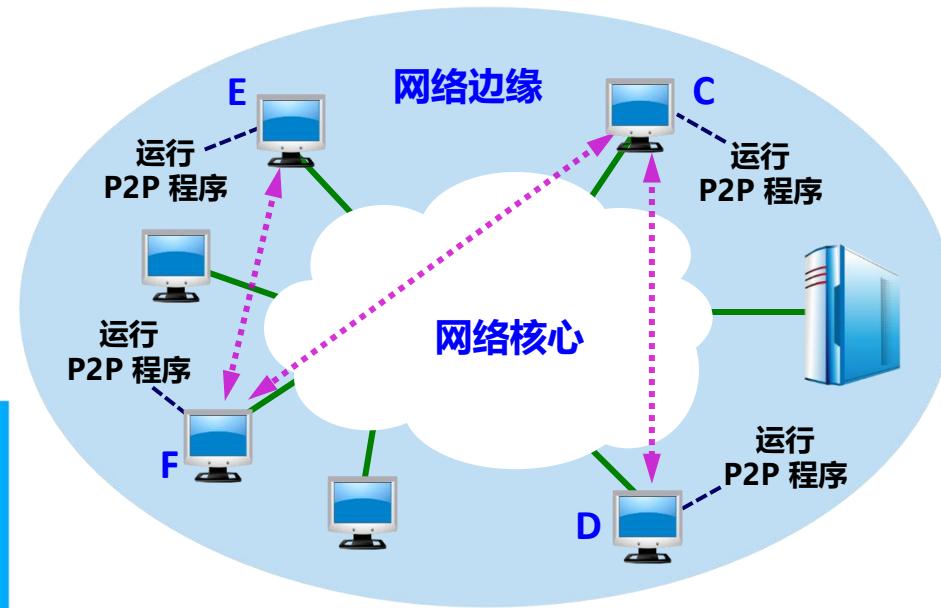
客户 A 向服务器 B 发出请求服务，
服务器 B 向客户 A 提供服务。



2. 对等连接方式 (P2P 方式)

- 两台主机在通信时**不区分**服务请求方和服务提供方。
- 只要都运行了 P2P 软件，**就可以进行平等的、对等连接通信。**

对等连接方式从本质上讲仍然是使用客户服务器方式，只是对等连接中的每一个主机**既是客户又是服务器**。

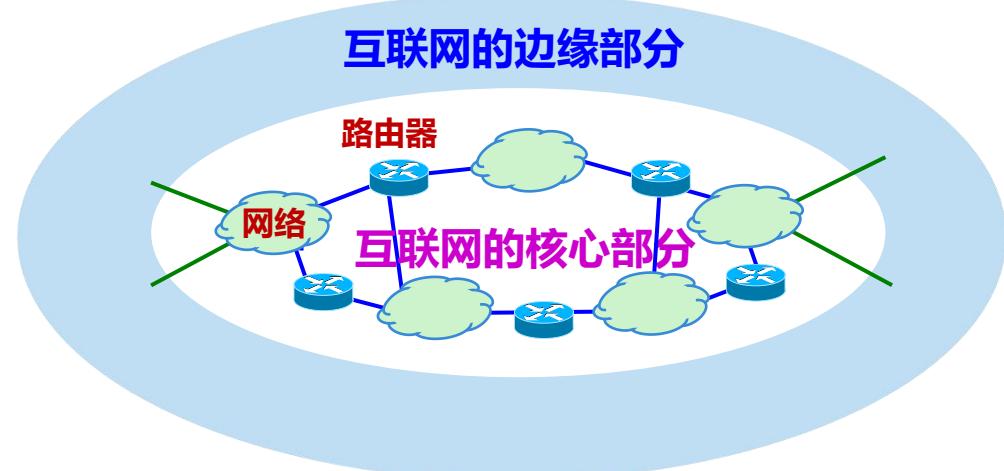


分布式、高可用



1.3.2 互联网的核心部分

- 是互联网中最复杂的部分。
- 向网络边缘中的主机提供连通性，使任何一台主机都能够向其他主机通信。
- 在网络核心部分起特殊作用的是**路由器 (router)**。
- 路由器是实现**分组交换 (packet switching)** 的关键构件，其任务是**转发**收到的分组。



分组转发是网络核心部分最重要的功能。



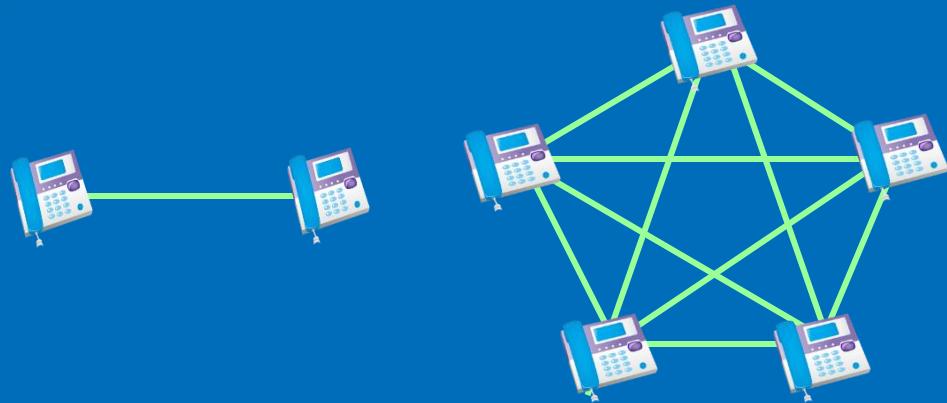
1.3.2 互联网的核心部分

- 典型交换技术包括：
 - ◆ 电路交换
 - ◆ 分组交换
 - ◆ 报文交换等。
- 互联网的核心部分采用分组交换技术。

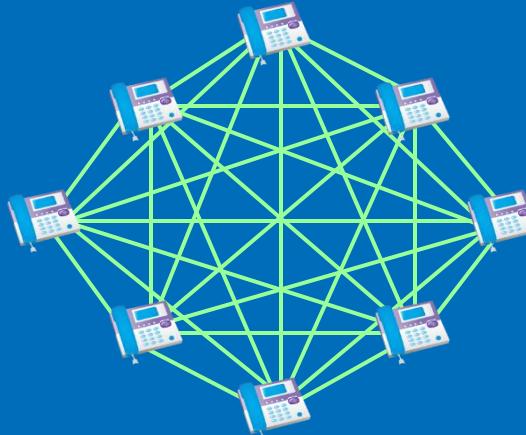


1. 电路交换的主要特点

电线对的数量与电话机数量的平方 (N^2) 成正比。



5 部电话机两两直接相连，需 10 对电线。

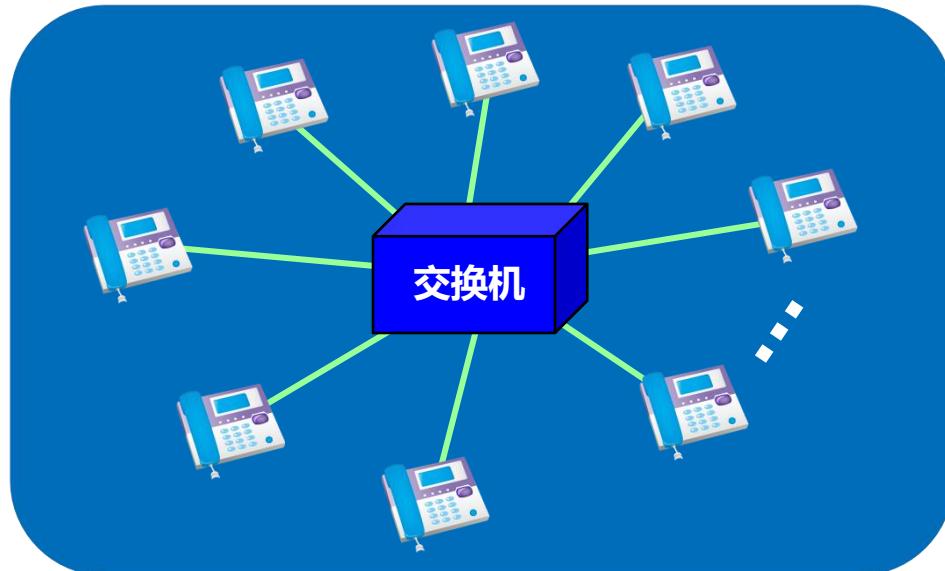


N 部电话机两两直接相连，需 $N(N - 1)/2$ 对电线。



使用交换机

当电话机的数量增多时，使用**电话交换机**将这些电话连接起来。



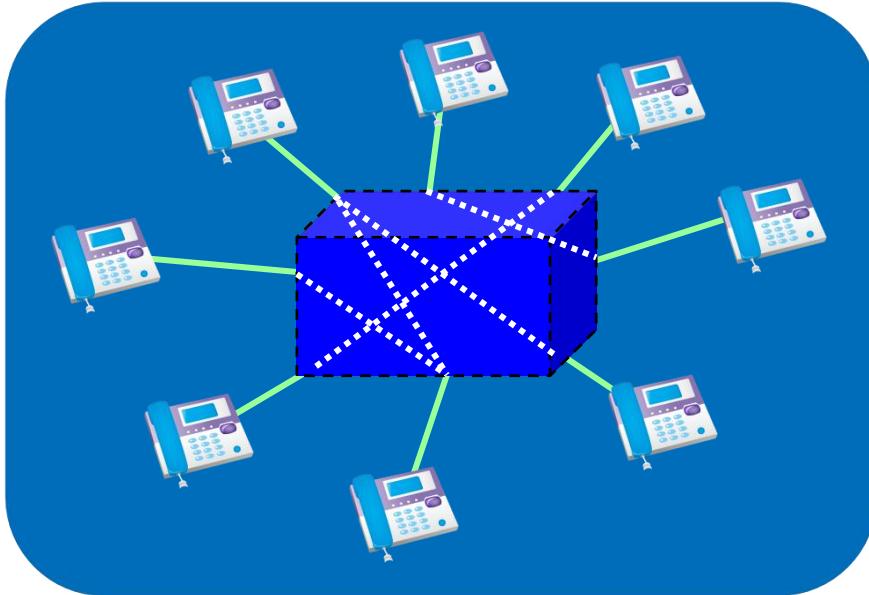
每一部电话都直接连接到交换机上，而交换机使用**交换**的方法，让电话用户彼此之间可以很方便地通信。

这种交换方式就是**电路交换** (*circuit switching*)。



“交换 (switching)” 的含义

- **转接：把一条电话线转接到另一条电话线，使它们连通起来。**
- **从通信资源的分配角度来看，就是按照某种方式动态地分配传输线路的资源。**





电路交换特点

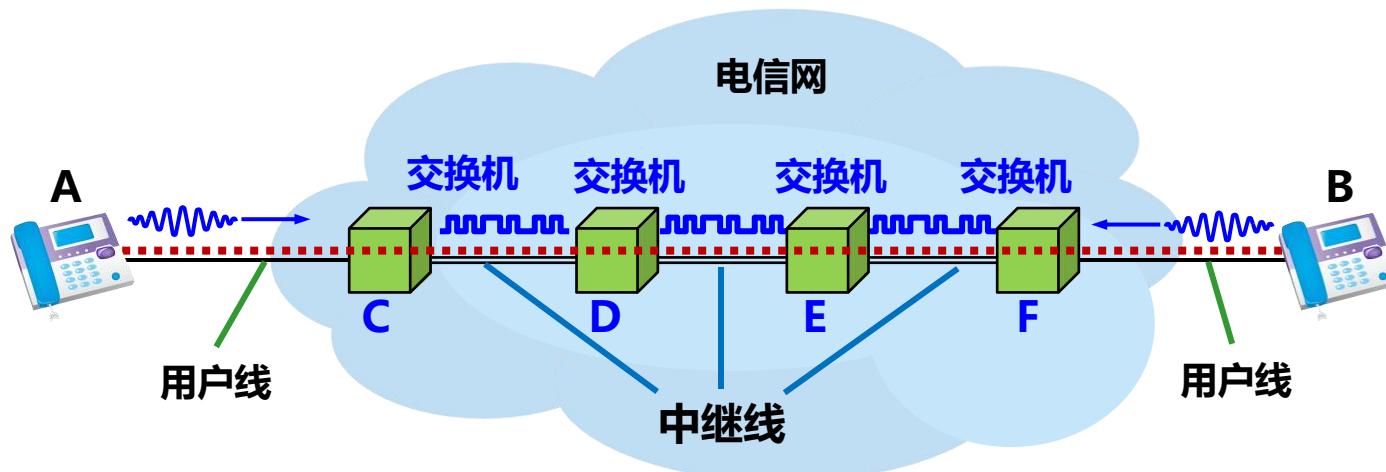
分为三个阶段：

- **建立连接：**建立一条专用的物理通路（占用通信资源）。
- **通话：**主叫和被叫双方互相通电话（一直占用通信资源）。
- **释放连接：**释放刚才使用的专用的物理通路（归还通信资源）。

这种必须经过“建立连接（占用通信资源）、通话（一直占用通信资源）、释放连接（归还通信资源）”三个步骤的交换方式称为**电路交换**。



电路交换特点：通话的两个用户始终占用端到端的通信资源



计算机数据具有突发性，这导致在传送数据时，通信线路的利用率很低，真正用来传送数据的时间往往不到 10%，甚至不到 1%，已被用户占用的通信线路资源在绝大部分时间里都是空闲的。



2. 分组交换的主要特点

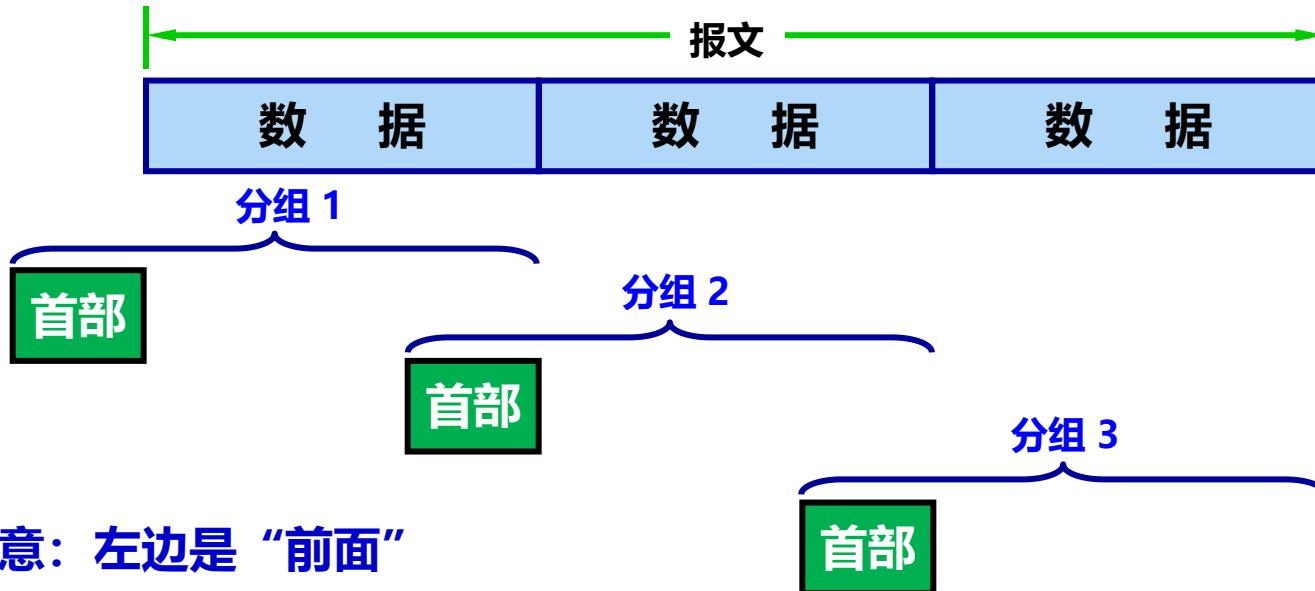
- 采用**存储转发技术**。



在发送端，先把较长的报文划分成更小的等长数据段。



数据段前面添加首部就构成了分组 (packet)

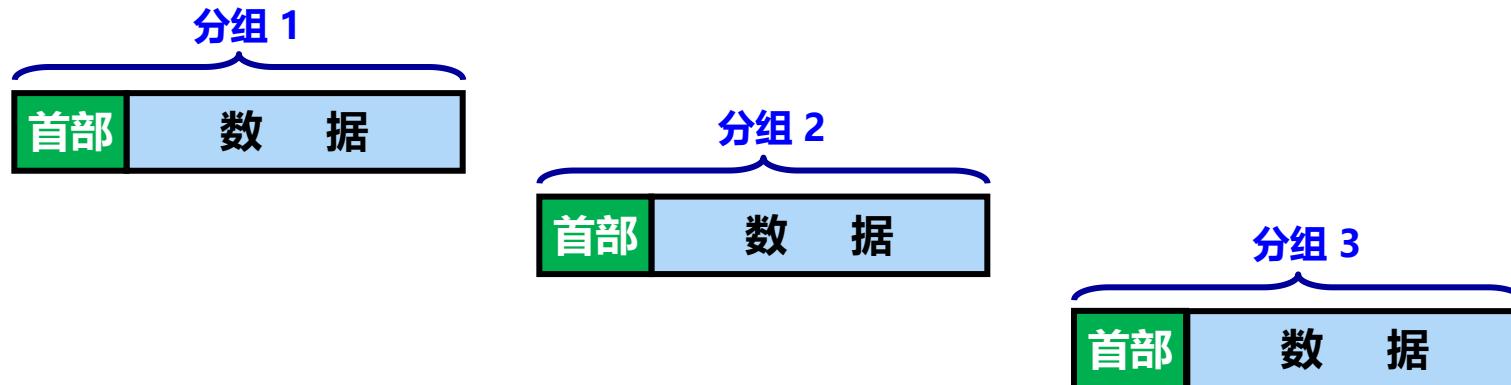


分组又称为“包”，而分组的首部也可称为“包头”。



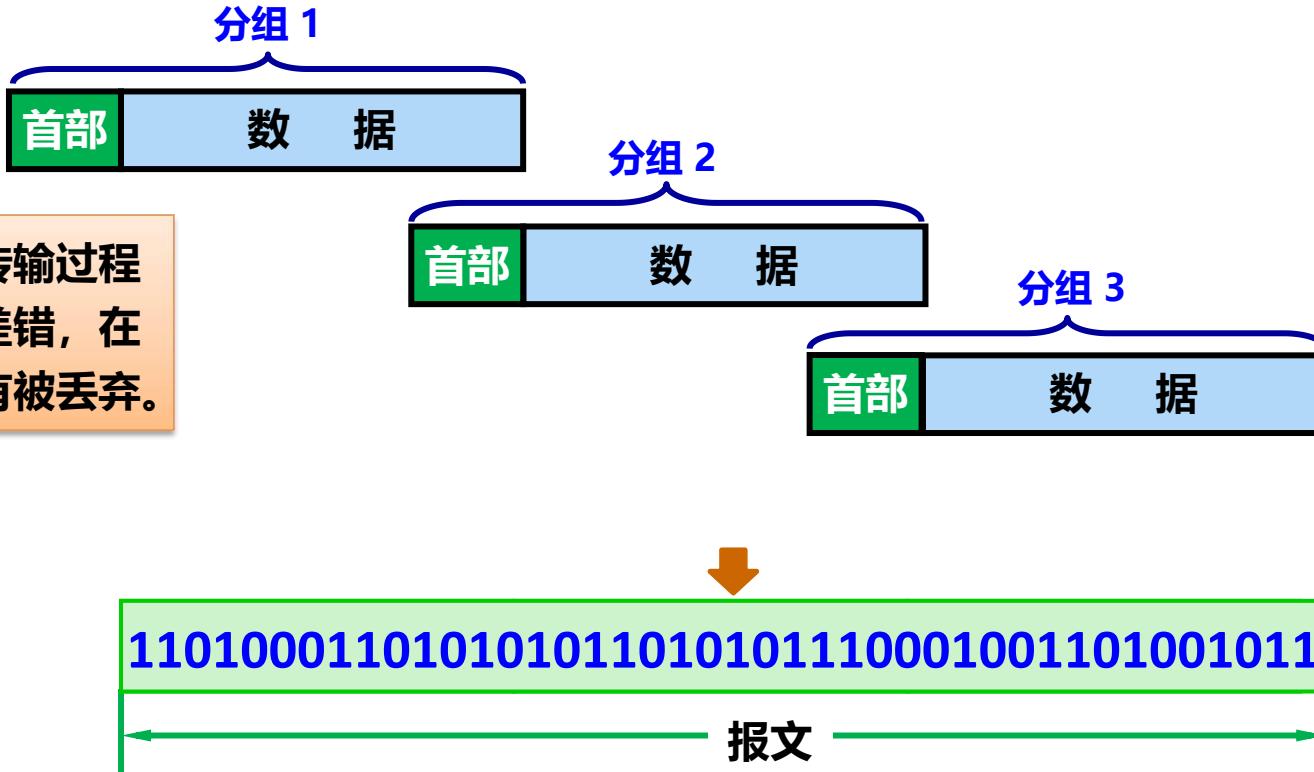
分组交换以“分组”作为数据传输单元

- 互联网采用分组交换技术。分组是在互联网中传送的数据单元。
- 发送端依次把各分组发送到接收端。





接收端收到分组后剥去首部，还原成原来的报文





分组在互联网中的转发

- 根据**头部**中包含的目的地址、源地址等重要控制信息进行转发。
- 每一个分组在互联网中**独立选择**传输路径。
- 位于网络核心部分的**路由器负责转发分组**,即进行分组交换。
- 路由器要创建和动态维护**转发表**。

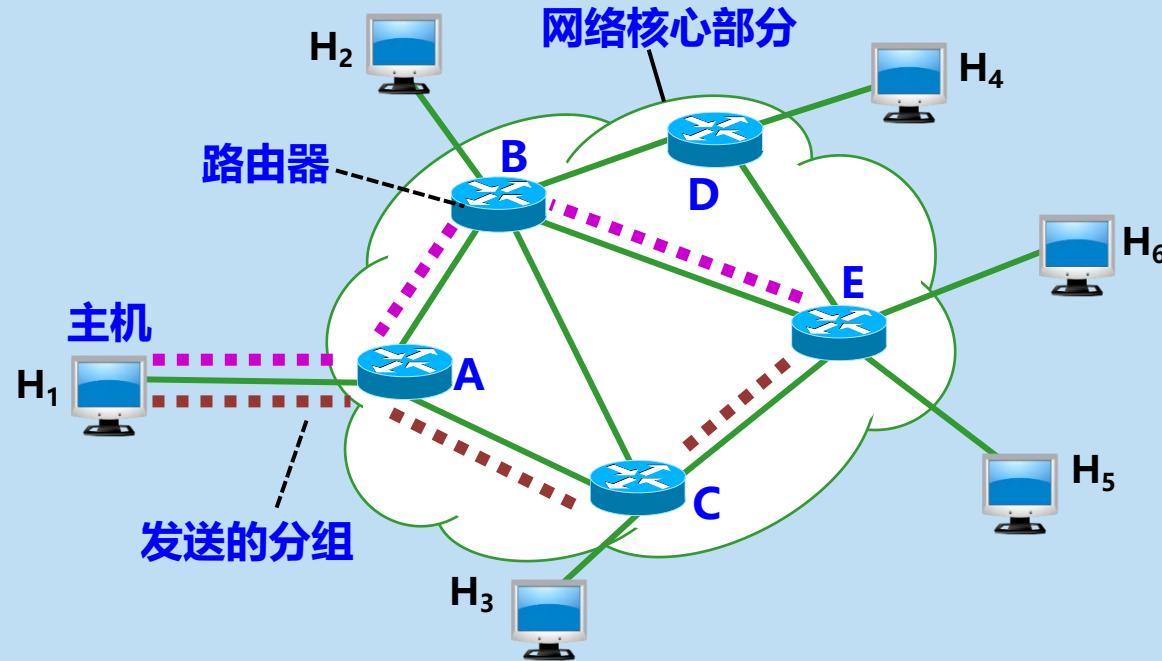
暂存收到的分组。

检查分组头部。

查找转发表。

按照头部中的目的地址,
找到合适的接口转发出去。

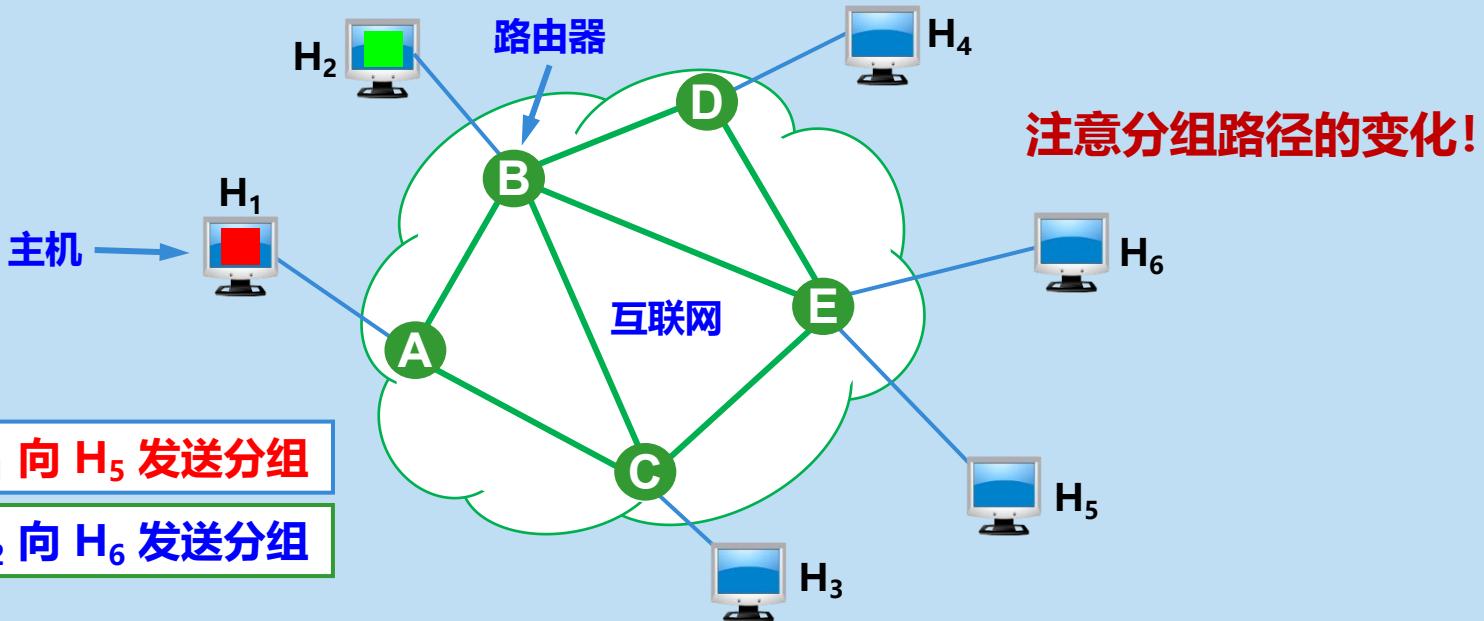
路由器处理分组的过程



(b) 核心部分中的网络可用一条链路表示

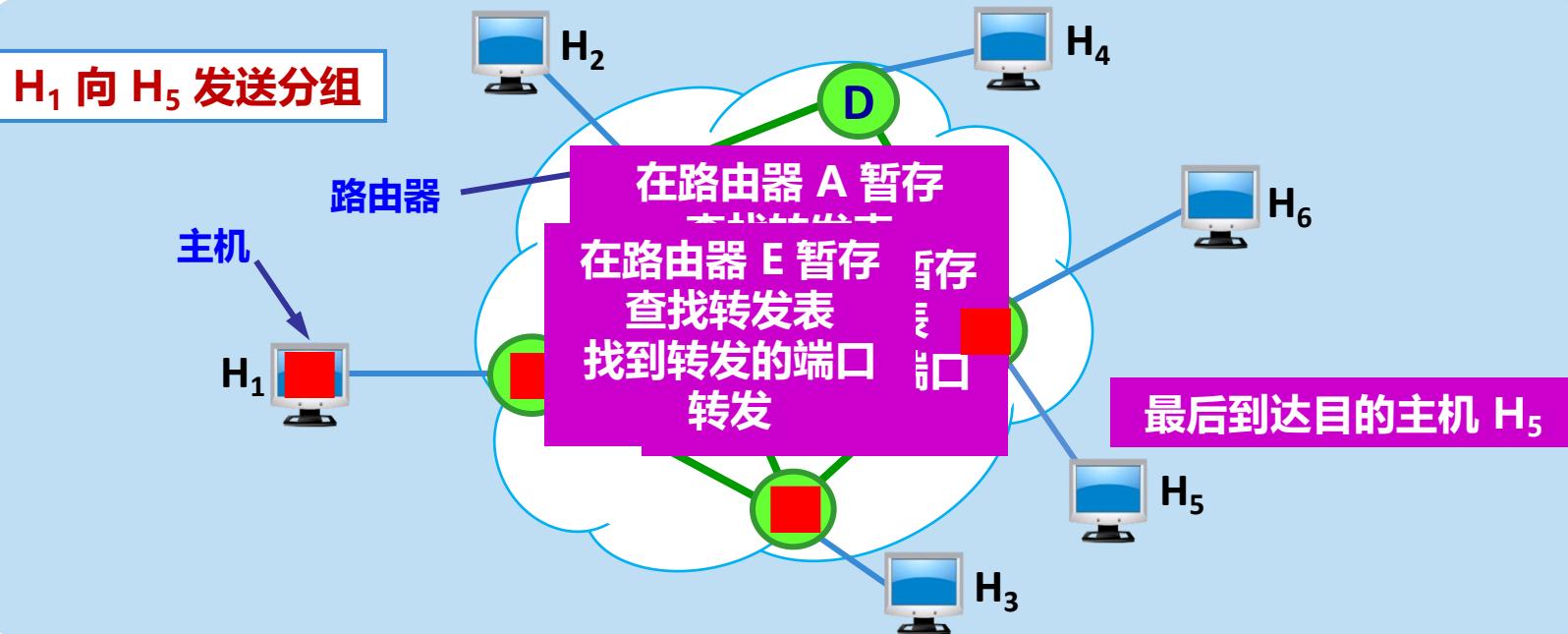


每个分组独立选择传输路径





分组的存储转发过程





分组交换的优点

优点	所采用的手段
高效	在分组传输的过程中动态分配传输带宽，对通信链路是逐段占用。
灵活	为每一个分组独立地选择最合适的选择路由。
迅速	以分组作为传送单位，可以不先建立连接就能向其他主机发送分组。
可靠	保证可靠性的网络协议；分布式多路由的分组交换网，使网络有很好的生存性。



分组交换带来的问题

- **排队延迟：**分组在各路由器存储转发时需要排队。
- **不保证带宽：**动态分配。
- **增加开销：**各分组必须携带控制信息；路由器要暂存分组，维护转发表等。

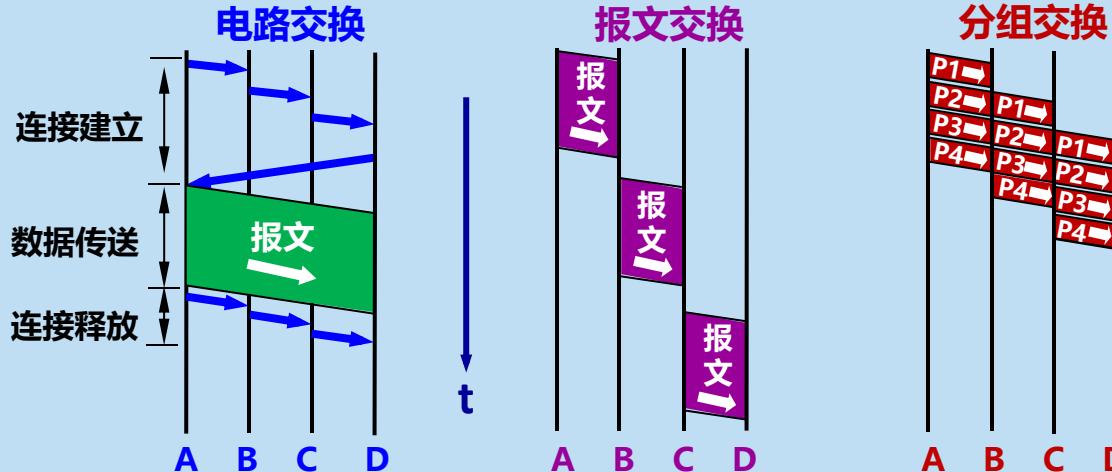


报文交换

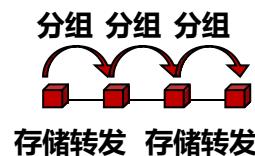
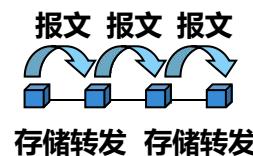
- 在 20 世纪 40 年代，电报通信就采用了基于存储转发原理的**报文交换** (message switching)。
- 但报文交换的时延较长，从几分钟到几小时不等。
- 现在报文交换已经很少有人使用了。



电路交换、报文交换和分组交换的主要区别



数据
传
送
特
点





三种交换方式的比较

- 若要连续传送**大量的**数据，且其传送时间**远大于**连接建立时间，则**电路交换**的传输速率较快。
- **报文交换**和**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。
- 由于一个分组的长度往往**远小于**整个报文的长度，因此**分组交换**比**报文交换**的时延小，同时也具有更好的灵活性。



1.5

计算机网络 的类别

1.5.1

计算机网络的定义

1.5.2

几种不同类别的计算机网络



1.5.1 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。

“可编程的硬件”表明：这种硬件一定包含有中央处理器 CPU。



3. 用来把用户接入到互联网的网络

- **接入网 AN (Access Network)**

- ◆ 又称为**本地接入网**或**居民接入网**。
- ◆ **用于将用户接入互联网**。
- ◆ 实际上就是**本地 ISP** 所拥有的网络，它既不是互联网的核心部分，也不是互联网的边缘部分。
- ◆ 是从某个用户端系统到**本地 ISP** 的**第一个路由器**（也称为**边缘路由器**）之间的一种网络。
- ◆ 从覆盖的范围看，很多接入网还是属于**局域网**。





1.6

计算机网络 的性能

1.6.1

计算机网络的性能指标

1.6.2

计算机网络的非性能特征



1.6.1 计算机网络的性能指标

性能指标：

从不同的方面来度量
计算机网络的性能。





1. 速率

比特

计算机中**数据量的单位**,也是信息论中信息量的单位。一个比特就是二进制数字中的一个1或0。

常用数据量单位

$$8 \text{ bit} = 1 \text{ Byte}$$

$$KB = 2^{10} B$$

$$MB = K \cdot KB = 2^{10} \cdot 2^{10} B = 2^{20} B$$

$$GB = K \cdot MB = 2^{10} \cdot 2^{20} B = 2^{30} B$$

$$TB = K \cdot GB = 2^{10} \cdot 2^{30} B = 2^{40} B$$

速率

连接在计算机网络上的主机在数字信道上**上传送比特的速率**,也称为**比特率**或**数据率**。

常用数据率单位

$$\text{bit/s (b/s, bps)}$$

$$kb/s = 10^3 b/s (\text{bps})$$

$$Mb/s = k \cdot kb/s = 10^3 \cdot 10^3 b/s = 10^6 b/s (\text{bps})$$

$$Gb/s = k \cdot Mb/s = 10^3 \cdot 10^6 b/s = 10^9 b/s (\text{bps})$$

$$Tb/s = k \cdot Gb/s = 10^3 \cdot 10^9 b/s = 10^{12} b/s (\text{bps})$$

例1: 有一个待发送的数据块,大小为100 MB,网卡的发送速率为100 Mbps,则网卡发送完该数据块需要多长时间?

严格来说,
不能直接约掉

$$\frac{\cancel{100} \text{ MB}}{\cancel{100} \text{ Mb/s}} = \frac{MB}{Mb/s} = \frac{2^{20} B}{10^6 b/s} = \frac{2^{20} \cdot 8b}{10^6 b/s} = 8.388608 s$$

平时估算,
可以直接约掉

$$\approx \frac{B}{b/s} = \frac{8b}{b/s} = 8 s$$



2. 带宽 (bandwidth)

频域

- 某个信号具有的**频带宽度**。
- 单位是**赫** (或千赫、兆赫、吉赫等) (Hz、kHz、MHz、GHz) 。
- 某信道允许通过的信号频带范围称为该**信道的带宽** (或通频带) 。

时域

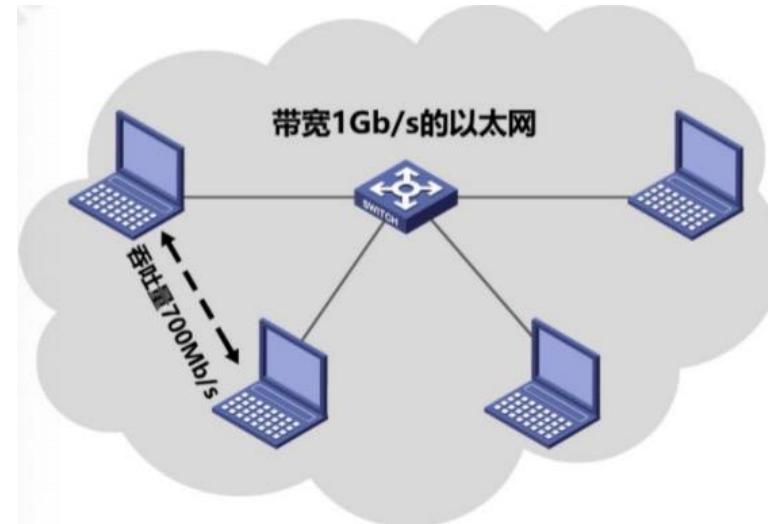
- 网络中某通道传送数据的能力，表示在单位时间内网络中的某信道所能通过的“**最高数据率**”。
- 单位就是数据率的单位 bit/s、Mb/s、Gb/s。

- ◆ 两者**关系密切**。
- ◆ 一条通信链路的“**带宽**”越宽，其所能传输的“**最高数据率**”也越高。



3. 吞吐量 (throughput)

- 单位时间内通过某个网络（或信道、接口）的**实际数据量**。
- 有时可用**每秒传送的字节数**或帧数来表示。

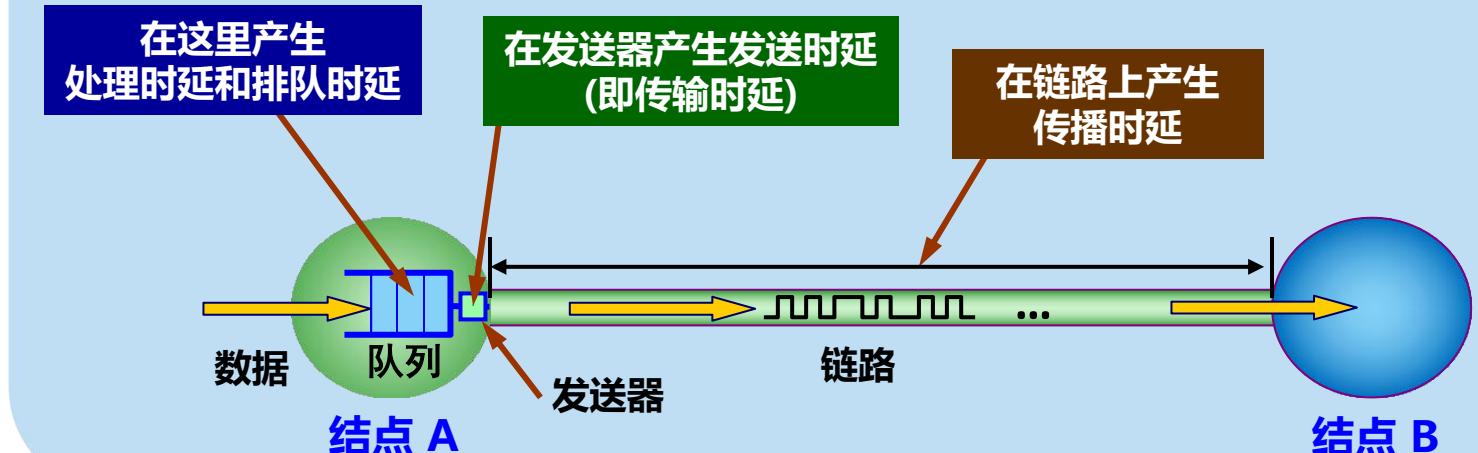




4. 时延 (delay 或 latency)

- 指数据（一个报文或分组，甚至比特）从网络（或链路）的一端传送到另一端所需的时间。

假设从结点 A 向结点 B 发送数据

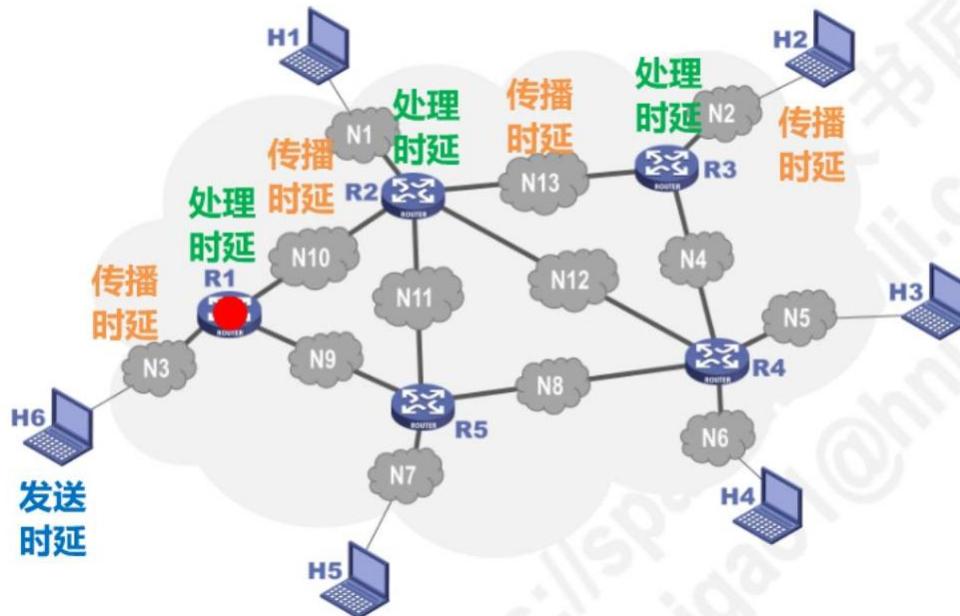


四种时延产生的地方不一样



4. 时延 (delay 或 latency)

- 指数据（一个报文或分组，甚至比特）从网络（或链路）的一端传送到另一端所需的时间。





容易产生的错误概念

以下说法是**错误的**:

“在高速链路（或高带宽链路）上，比特会传送得更快些”。

- 对于高速网络链路，我们**提高的仅仅是数据的发送速率，而不是比特在链路上的传播速率。**
- 提高数据的发送速率**只是减小了数据的发送时延。**

自由空间 = 3.0×10^5 km/s

铜线 = 2.3×10^5 km/s

光纤 = 2.0×10^5 km/s



(1) 发送时延



发送速率
1Gb/s
100Mb/s
100Mb/s

$$\text{发送时延} = \frac{\text{分组长度 (bit)}}{\text{发送速率 (bit/s)}}$$

网络
时延

发送
时延

传播
时延

$$\text{传播时延} = \frac{\text{信道长度 (米)}}{\text{信号在信道上的传播速率 (米/秒)}}$$

处理
时延



$$\begin{aligned}\text{自由空间} &= 3.0 \times 10^5 \text{ km/s} \\ \text{铜线} &= 2.3 \times 10^5 \text{ km/s} \\ \text{光纤} &= 2.0 \times 10^5 \text{ km/s}\end{aligned}$$



分析举例



- 结点 A 要将一个数据块通过 1000 km 的光纤链路发送给结点 B。假设忽略处理时延和排队时延。请分别计算下列情况时的总时延，并验证“数据的发送速率越高，其传送的总时延就越小”的说法是否正确。
 - ◆ (1) 数据块大小为 100 MB，信道带宽为 1 Mbit/s
 - ◆ (2) 数据块大小为 100 MB，信道带宽为 100 Mbit/s
 - ◆ (3) 数据块大小为 1 B，信道带宽为 1 Mbit/s
 - ◆ (4) 数据块大小为 1 B，信道带宽为 1 Gbit/s



分析举例

- 解：

传播时延 = $1000 \text{ km} / 2.0 \times 10^5 \text{ km/s} = 5 \text{ ms}$ 。

(1) 发送时延 = $100 \times 2^{20} \times 8 \div 10^6 = 838.9 \text{ s}$,

总时延 = $838.9 + 0.005 \approx 838.9 \text{ s}$ 。

(2) 发送时延 = $100 \times 2^{20} \times 8 \div 10^8 = 8.389 \text{ s}$

总时延 = $8.389 + 0.005 = 8.394 \text{ s}$ 。缩小到 (1) 的近 $1/100$ 。

(3) 发送时延 = $1 \times 8 \div 10^6 = 8 \times 10^{-6} \text{ s} = 8 \mu\text{s}$,

总时延 = $0.008 + 5 = 5.008 \text{ ms}$ 。

(4) 发送时延 = $1 \times 8 \div 10^9 = 8 \times 10^{-9} \text{ s} = 0.008 \mu\text{s}$

总时延 = $0.000008 + 5 = 5.000008 \text{ ms}$ 。与 (3) 相比没有明显减小。

不能笼统地认为：“数据的发送速率越高，其传送的总时延就越小”。



5. 时延带宽积

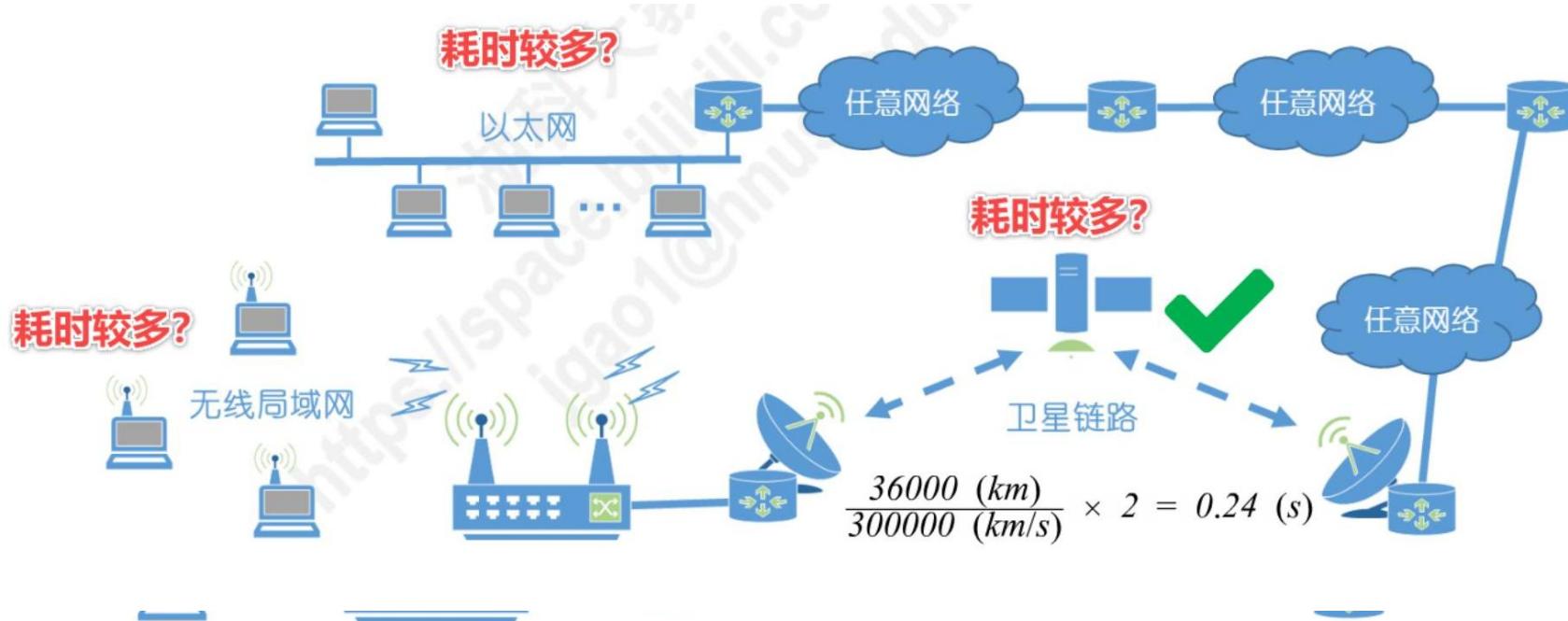
$$\text{时延带宽积} = \text{传播时延} \times \text{带宽}$$



链路的时延带宽积又称为以比特为单位的链路长度。

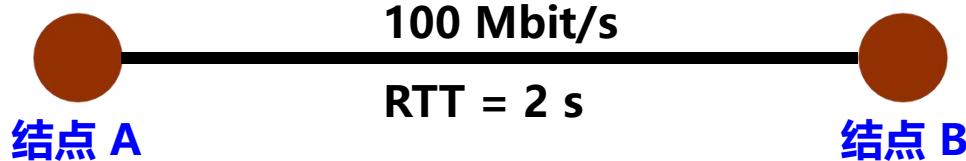


6. 往返时间 RTT (Round-Trip Time)





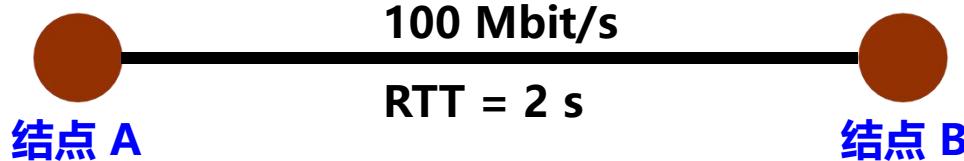
分析举例



- 结点 A 要将一个 100 MB 数据以 100 Mbit/s 的速率发送给结点 B, B 正确收完该数据后, 就立即向 A 发送确认。假定 A 只有在收到 B 的确认信息后, 才能继续向 B 发送数据, 且确认信息很短。计算 A 向 B 发送数据的有效数据率。



分析举例



- 解：

$$\text{发送时延} = \frac{\text{数据长度}}{\text{发送速率}} = \frac{100 \times 2^{20} \times 8}{100 \times 10^6} \approx 8.39 \text{ s}$$

$$\text{有效数据率} = \frac{\text{数据长度}}{\text{发送时延} + \text{RTT}} = \frac{100 \times 2^{20} \times 8}{8.39 + 2} \approx 80.7 \text{ Mbit/s}$$



7. 利用率

信道利用率

- 某信道有百分之几的时间是被利用的（即有数据通过）。
- 完全空闲的信道的利用率是零。

网络利用率

- 全网络的信道利用率的加权平均值。

问题：信道利用率越高越好吗？



时延与网络利用率的关系

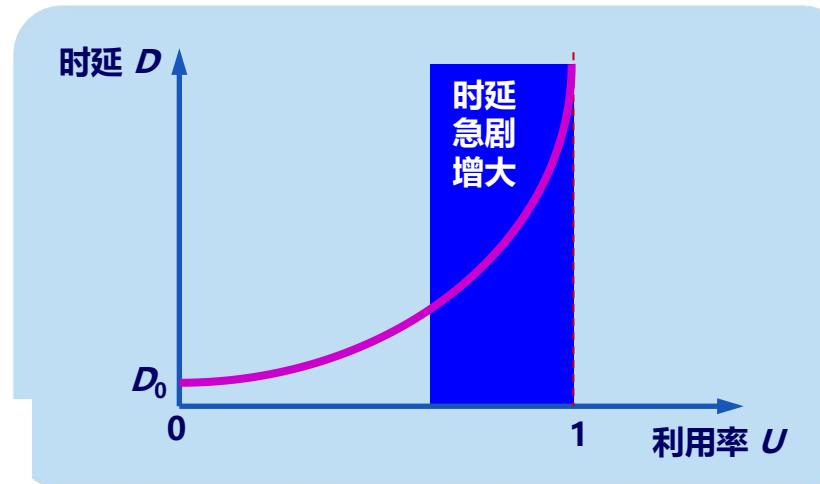
- 根据排队论，当某信道的利用率增大时，时延会迅速增加。

$$D = \frac{D_0}{1 - U}$$

其中：

D_0 : 网络空闲时的时延。
 D : 网络在当前的时延。
 U : 网络当前的利用率，数值在 0 到 1 之间。

- 当网络的利用率达到50%时，时延就要加倍；
- 当网络的利用率超过50%时，时延急剧增大；
- 当网络的利用率接近100%时，时延就趋于无穷大；
- 因此，一些拥有较大主干网的ISP通常会控制它们的信道利用率不超过50%。如果超过了，就要准备扩容，增大线路的带宽。



当信道的利用率增大时，
该信道引起的时延迅速增加。



本讲小结

- ✓ 网络的交换方式：分组交换、电路交换、报文交换
- ✓ 网络时延的构成：发送、传播、处理、排队
- ✓ 各种网络时延的计算