

# 计算机网络（第 5 版）课件



---

谢希仁 编著



# 第 1 章 概述

---

## 1.1 计算机网络在信息时代中的作用

## 1.2 因特网概述

### 1.2.1 网络的网络

### 1.2.2 因特网发展的三个阶段

### 1.2.3 因特网的标准化工作

### 1.2.4 计算机网络在我国的发展

## 1.3 因特网的组成

### 1.3.1 因特网的边缘部分

### 1.3.2 因特网的核心部分



# 第 1 章 概述（续）

---

1.4 计算机网络在我国的发展

1.5 计算机网络的类别

1.5.1 计算机网络的定义

1.5.2 几种不同类别的网络

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



# 第 1 章 概述（续）

---

## 1.7 计算机网络的体系结构

1.7.1 计算机网络体系结构的形成

1.7.2 协议与划分层次

1.7.3 具有五层协议的体系结构

1.7.4 实体、协议、服务和服务访问点

1.7.5 TCP/IP 的体系结构



# 1.1 计算机网络 在信息时代的作用

---

- 21 世纪的一些重要特征就是数字化、网络化和信息化，它是一个以网络为核心的信息时代。
- 网络现已成为信息社会的命脉和发展知识经济的重要基础。
- 网络是指“三网”，即电信网络、有线电视网络和计算机网络。
- 发展最快的并起到核心作用的是计算机网络。



# 因特网 (Internet) 的发展

---

- 进入 20 世纪 90 年代以后，以因特网为代表的计算机网络得到了飞速的发展。
  -
- 已从最初的教育科研网络逐步发展成为商业网络。
- 已成为仅次于全球电话网的世界第二大网络。



# 因特网的意义

---

- 因特网是自印刷术以来人类通信方面最大的变革。
- 现在人们的生活、工作、学习和交往都已离不开因特网。



# 计算机网络向用户提供的最重要的功能

---

- **连通性**——计算机网络使上网用户之间都可以交换信息，好像这些用户的计算机都可以彼此直接连通一样。
- **共享**——即资源共享。可以是信息共享、软件共享，也可以是硬件共享。





## 1.2 因特网概述

---

### 1.2.1 网络的网络

- 起源于美国的因特网现已发展成为世界上最大的国际性计算机互联网
- 网络 (network) 由若干结点 (node) 和连接这些结点的链路 (link) 组成。
- 互联网是“网络的网络” (network of networks) 。
- 连接在因特网上的计算机都称为主机 (host) 。



# 名词“结点”和“节点”不同

---

- “结点”的英文名词是 node 。
- node 有时也可译为“节点”
- 在网络中的 node 的标准译名是“**结点**”而不是“节点”。
- 数据结构的**树** (tree) 中的 node 应当译为“节点”。

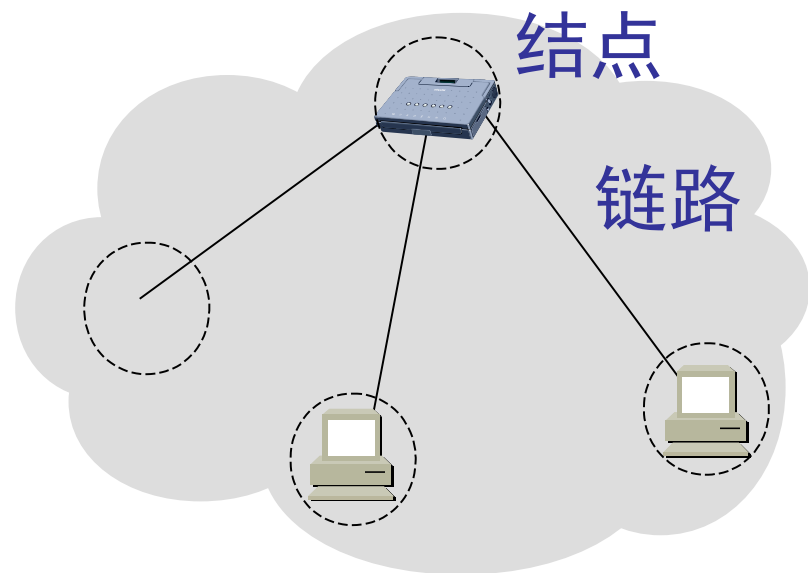


# 网络与因特网

---

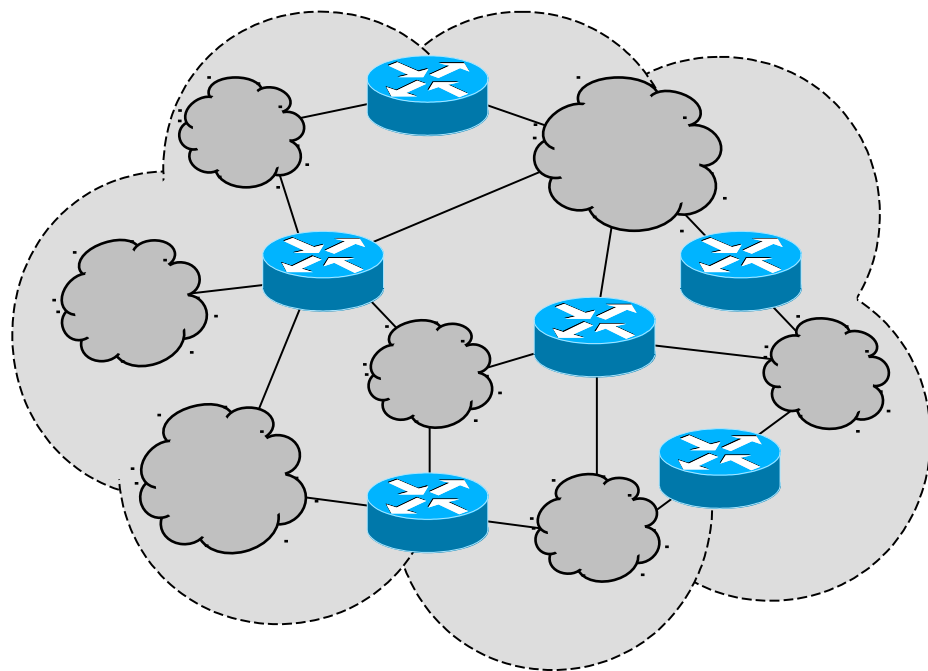
- 网络把许多计算机连接在一起。
- 因特网则把许多网络连接在一起。

## 网络



(a)

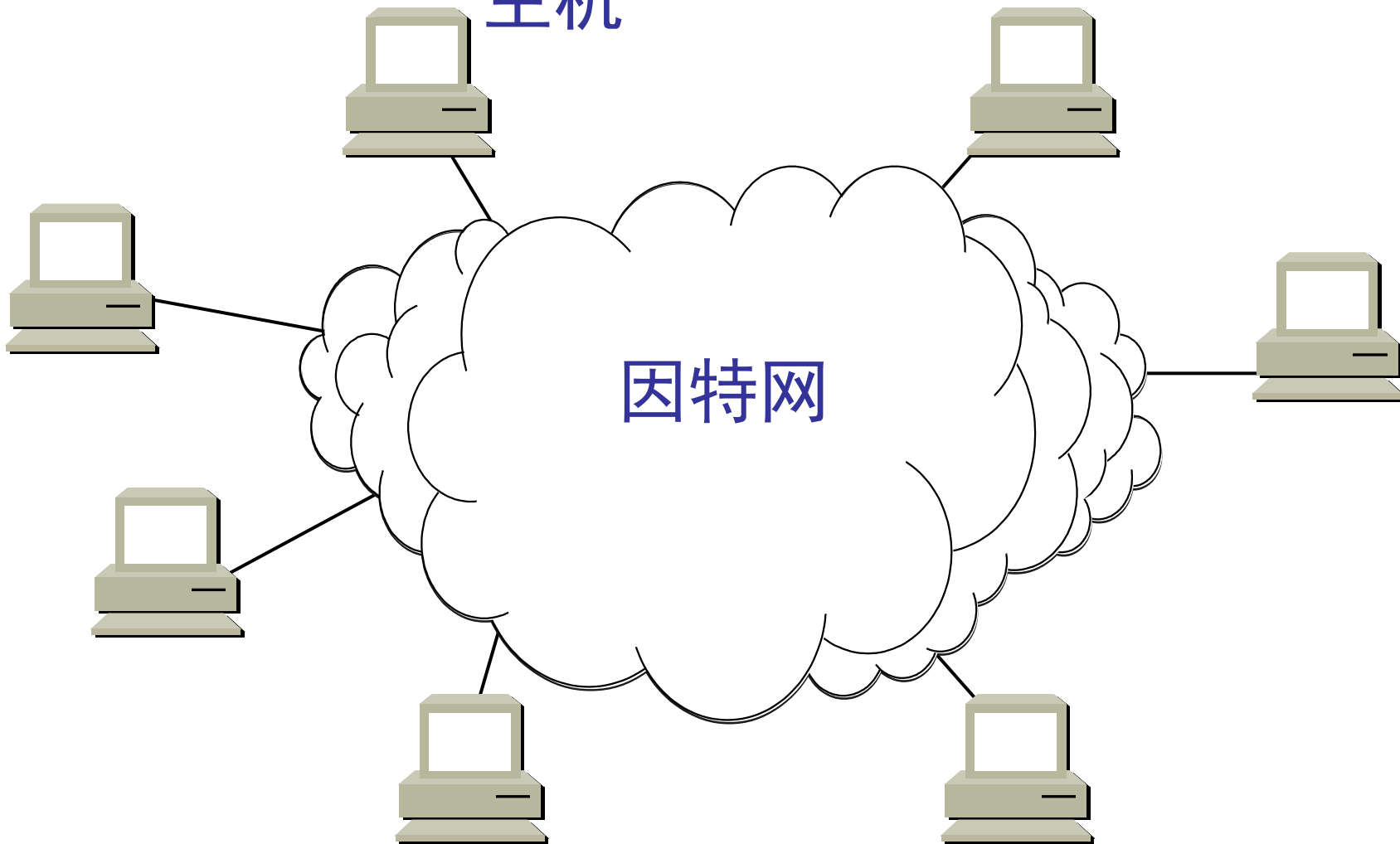
## 互联网（网络的网络）



(b)

主机

因特网





# 计算机网络的产生背景

---

- 是 20 世纪 60 年代美苏冷战时期的产物。
- 60 年代初，**美国国防部领导的远景研究规划局** ARPA (Advanced Research Project Agency) 提出要研制一种生存性 (survivability) 很强的网络。
- 传统的电路交换 (circuit switching) 的电信网有一个缺点：正在通信的电路中有一个交换机或有一条链路被炸毁，则整个通信电路就要中断。
- 如要改用其他迂回电路，必须重新拨号建立连接。这将要延误一些时间。



## 1.2.2 因特网发展的三个阶段

---

- 因特网的基础结构大体上经历了三个阶段的演进。
- 但这三个阶段在时间划分上并非截然分开而是有**部分重叠**的，这是因为网络的演进是逐渐的而不是突然的。



# 因特网发展的三个阶段

---

- **第一阶段**是从单个网络 ARPANET 向互联网发展的过程。
- 1983 年 TCP/IP 协议成为 ARPANET 上的标准协议。
- 人们把 1983 年作为因特网的诞生时间。





# ARPANET

---

20 世纪 60 年代，出现多台具有自主处理能力的计算机通过通信线路互连起来，他们之间没有主从关系。

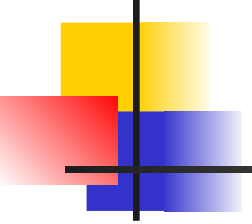
- ◆ 典型代表为早期的分组交换网 ARPANET，世界上第一个分组交换网，由美国国防部高级研究计划局 DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) 于 1969 年（冷战时期）建立，目的是建立一个用于军事作战指挥的网络系统。
- ◆ 原理： 分组交换，存储转发
- ◆ 构成（2 部分）：接口报文处理机 IMP、主机 HOST
- ◆ 四个节点： UCLA、SRI、UC Santa Barbara、U. Of Utah  
—— 几百台计算机
- ◆ 目的：远程登录



# ARPAnet

---

- ▶ 1969 年 11 月，实验性的 ARPAnet 开通（4 台）；
- ◆ 1975 年，ARPAnet 已经连入了 100 多台主机，并且结束了网络实验阶段，移交美国国防部国防通信局正式运行；
- 1983 年 TCP/IP 协议成为**标准协议**。ARPAnet 向 TCP/IP 的转换；
- 同年，ARPANET 分解成两个网络：
  - ARPANET——进行实验研究用的科研网
  - MILNET——军用计算机网络
- ◆ 1983-1984 年，形成了**因特网** Internet，ARPAnet 成为 Internet 的主干网；
- ◆ 1990 年，ARPAnet 退役。
- ◆ **ARPAnet 对网络的产生与发展起到重要的影响。**



# ARPANET 的成功使 计算机网络的概念发生根本变化

---

- 早期的面向终端的计算机网络是以**单个主机为中心**的星形网
  - 各终端通过通信线路共享昂贵的中心主机的硬件和软件资源。
- 分组交换网则是以**网络为中心**，主机都处在网络的外围。
  - 用户通过分组交换网可共享连接在网络上的许多硬件和各种丰富的软件资源。



# ARPANET 的贡献

---

ARPANET 是计算机网络技术发展的一个重要的里程碑，它对计算机网络技术发展的主要贡献表现在以下几个方面：

- 完成了对计算机网络定义、分类的研究；
- 提出了资源子网、通信子网的网络结构概念；
- 研究了分组交换方法；
- 采用了层次结构的网络体系结构模型与协议；



# 通信子网与资源子网

---

计算机网络从逻辑功能上就可以分为资源子网和通信子网两部分。

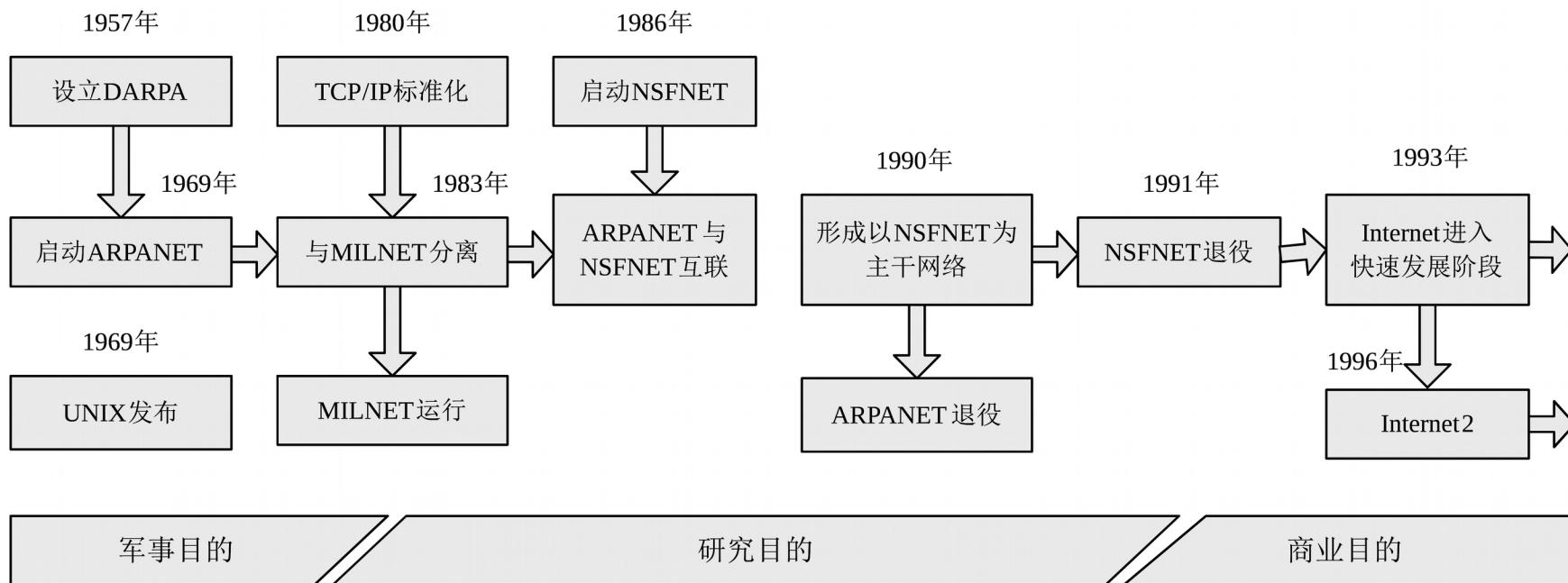
- 资源子网

- 由主计算机系统、终端、连网外设、各种软件资源与信息资源组成；
- 负责全网的数据处理业务，向网络用户提供各种共享的网络资源与网络服务。

- 通信子网

- 由通信控制处理机（交换设备）、通信线路与其它通信设备组成，完成网络数据传输、转发等通信处理任务。

# 从 ARPANET 到 Internet 的发展过程





# Internet 和 Internet 的区别

---

- 以**小写字母 i** 开始的 **internet**（互联网或互连网）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** 开始的的 **Internet**（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**。



## 因特网发展的第二阶段

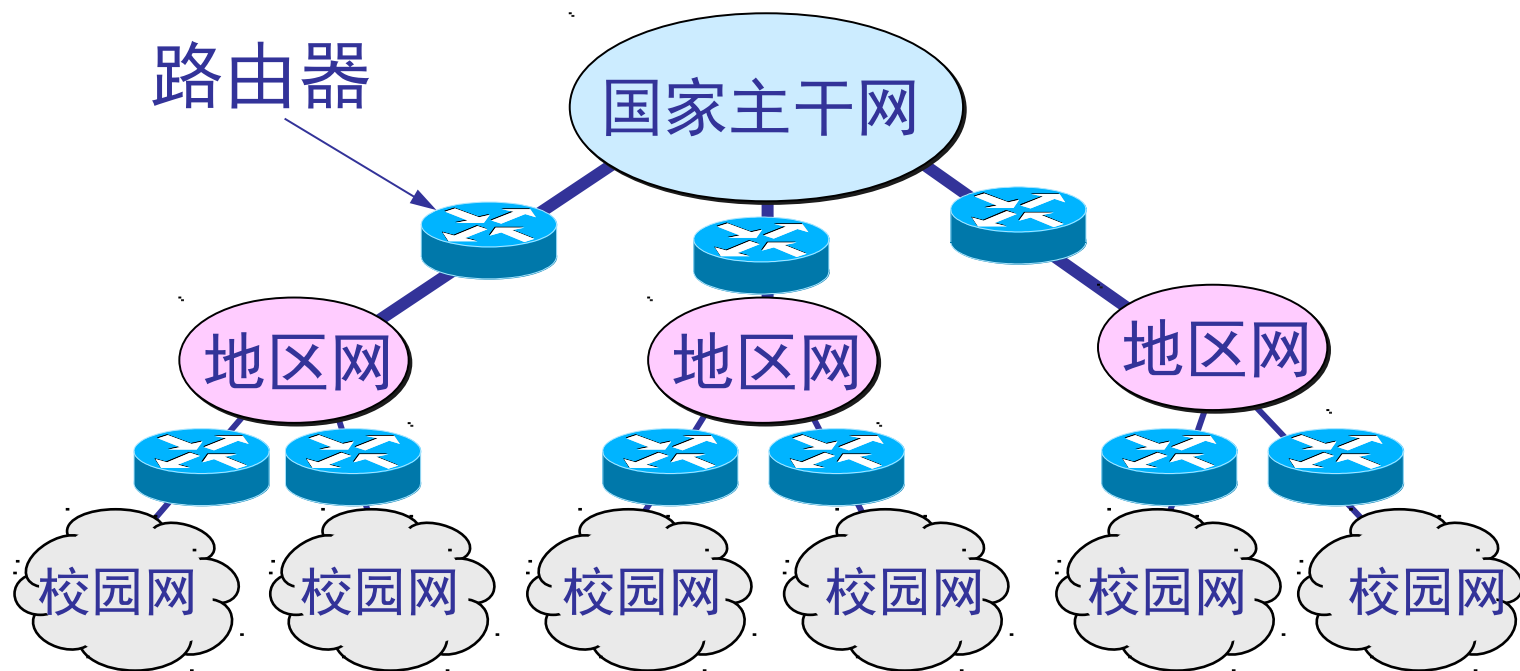
---

- 1986 年，NSF 建立了国家科学基金网。 NSFNET。它是一个三级计算机网络：
  - 主干网
  - 地区网
  - 校园网
- 1991 年，美国政府决定将因特网的主干网转交给私人公司来经营，并开始对接入因特网的单位收费。



# 三级结构的因特网

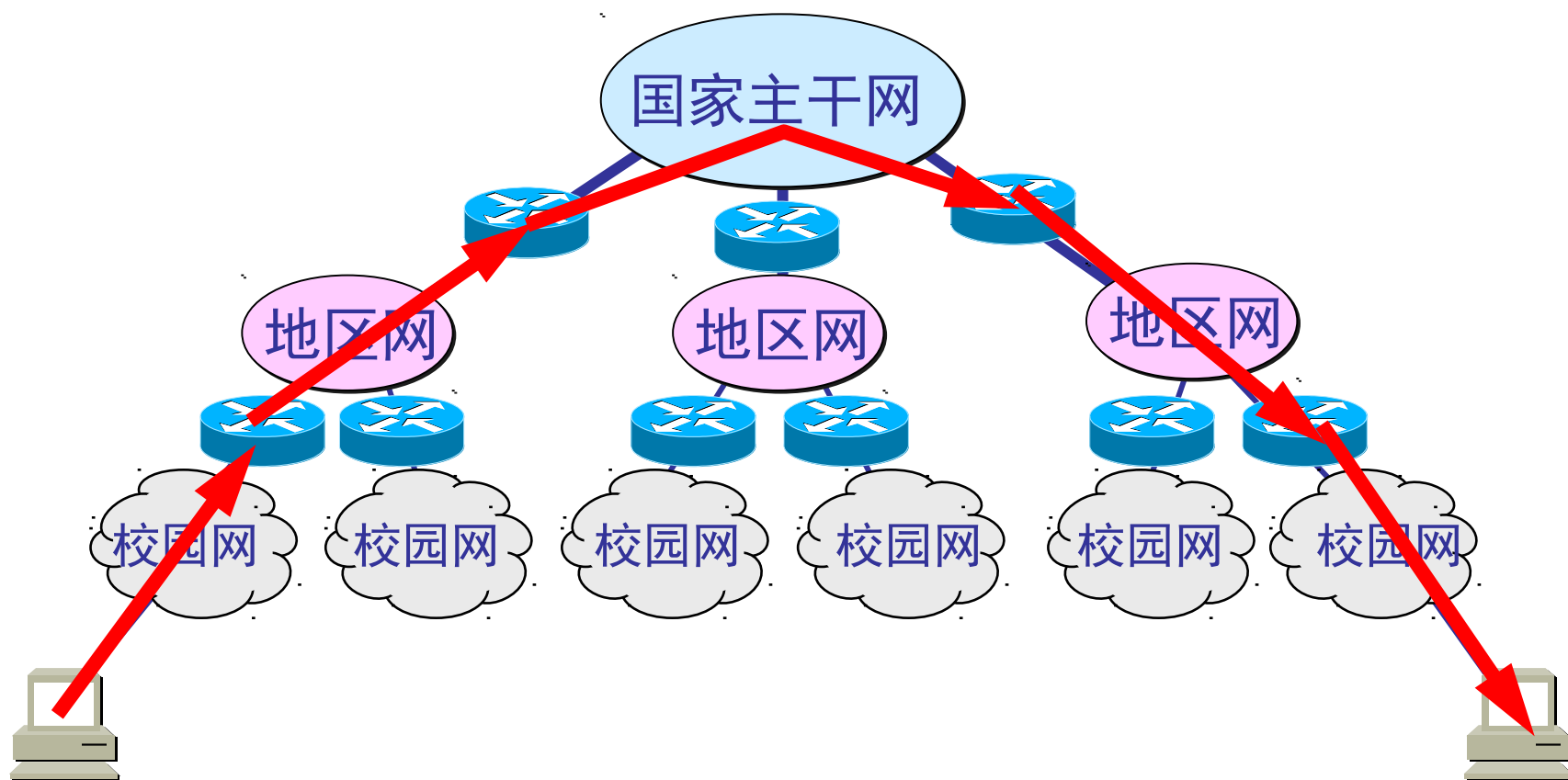
- 各网络之间需要使用**路由器**来连接。



- 有时在结构图中可不画出路由器。

# 三级结构的因特网

- 主机到主机的通信可能要经过多种网络。





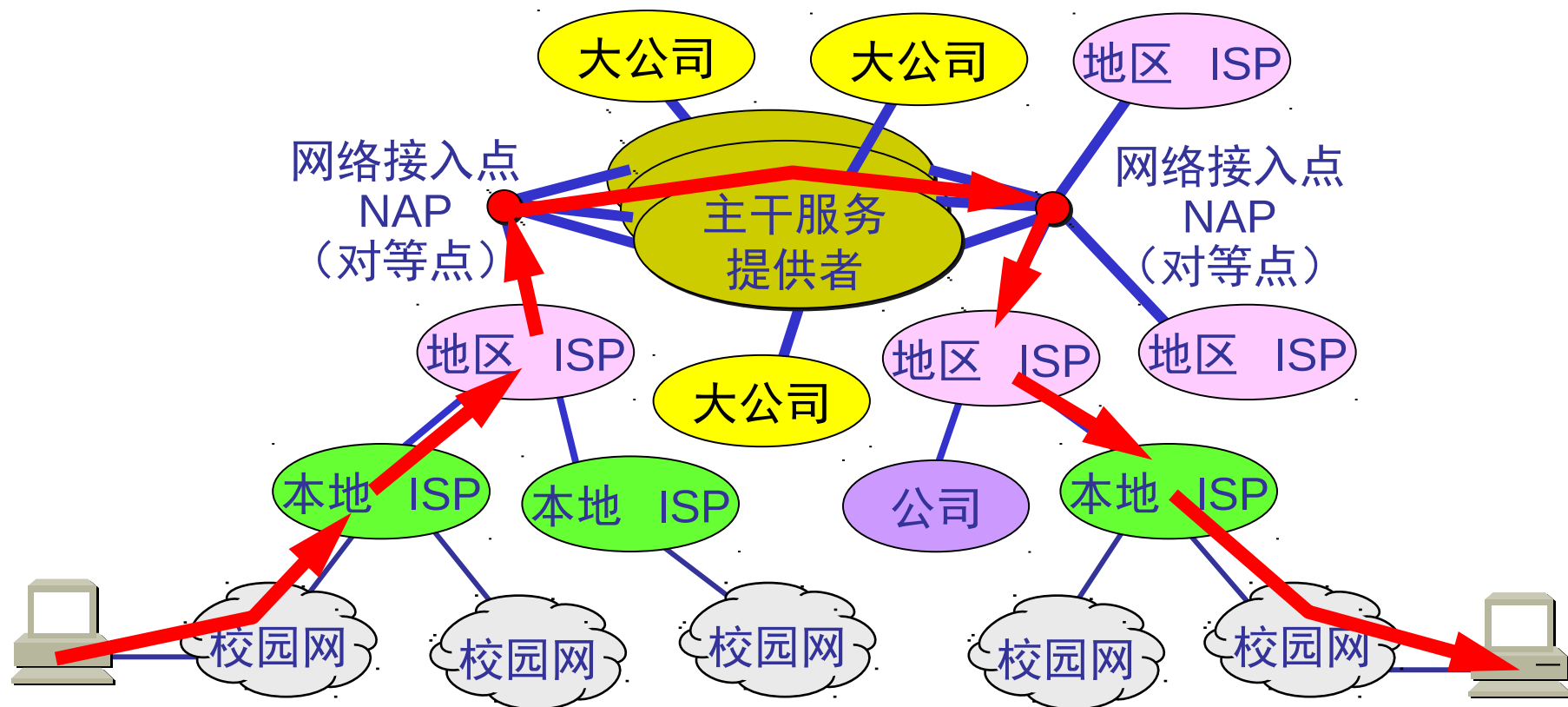
# 因特网发展的第三阶段

---

- 从 1993 年开始，由美国政府资助的 NSFNET 逐渐被若干个商用的 ISP ( 因特网服务提供者 ) 网络所代替。
- 1994 年开始创建了 4 个网络接入点 NAP (Network Access Point)，分别由 4 个电信公司经营。
- NAP 就是用来交换因特网上流量的结点。在 NAP 中安装有性能很好的交换设施。到本世纪初，美国的 NAP 的数量已达到十几个。
- 从 1994 年到现在，因特网逐渐演变成多级结构网络。

# 多级结构的因特网

■ 主机到主机的通信可能经过多种 ISP 。





# 今日的多级结构的因特网

---

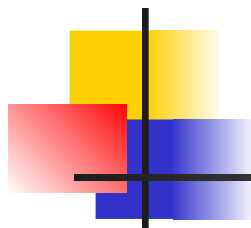
- 大致上可将因特网分为以下五个接入级
  - 网络接入点 NAP
  - 国家主干网（主干 ISP）
  - 地区 ISP
  - 本地 ISP
  - 校园网、企业网或 PC 机上网用户



# 万维网 WWW 的问世

---

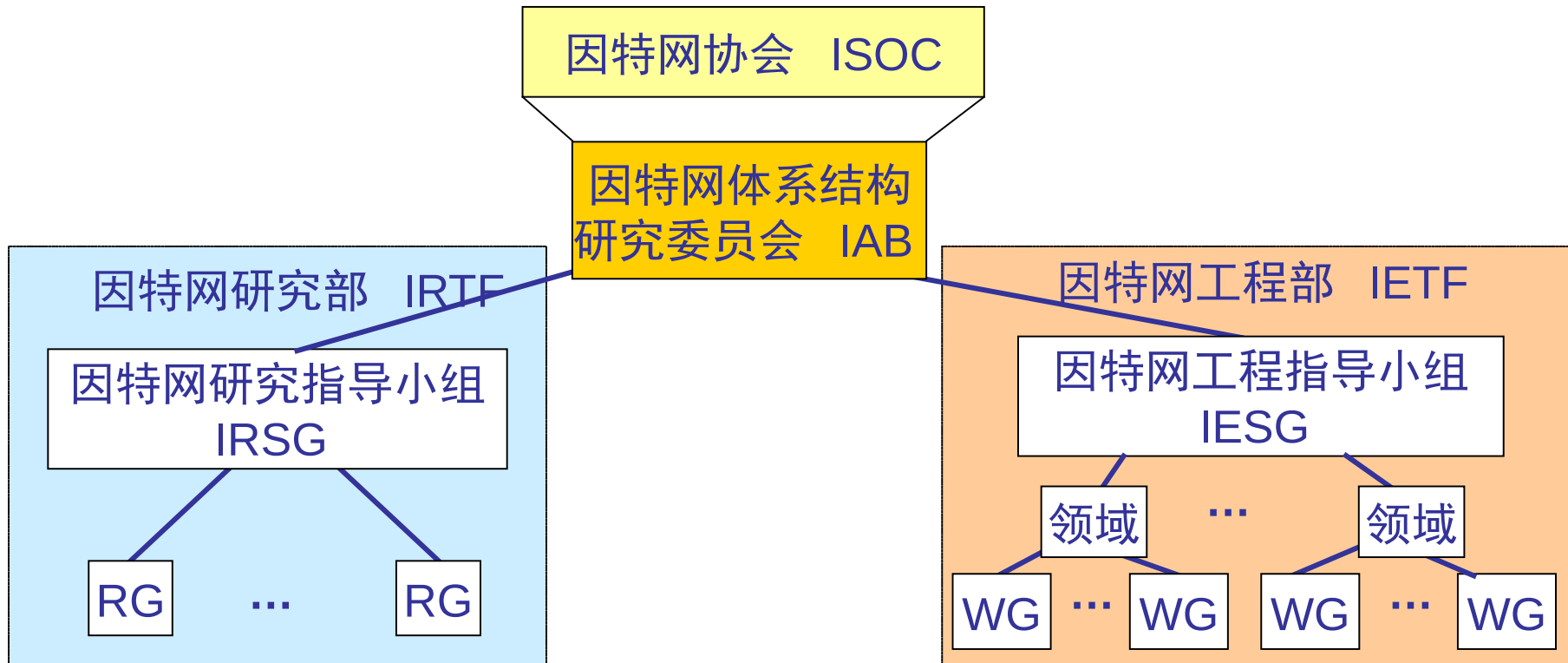
- 因特网已经成为世界上规模最大和增长速率最快的计算机网络，没有人能够准确说出因特网究竟有多大。
- 因特网的迅猛发展始于 20 世纪 90 年代。由欧洲原子核研究组织 CERN 开发的万维网 WWW (World Wide Web) 被广泛使用在因特网上，大大方便了广大非网络专业人员对网络的使用，成为因特网的这种指数级增长的主要驱动力。



# 因特网的发展情况概况

	管理机构数	网络数	主机数	用户数
1980	10	$10^2$	$10^2$	$10^0$
1990	$10^3$	$10^5$	$10^6$	$10^1$
2000	$10^5$	$10^7$	$10^8$	$10^2$
2005	$10^6$	$10^8$	$10^9$	$10^3$

# 1.2.3 关于因特网的标准化工作





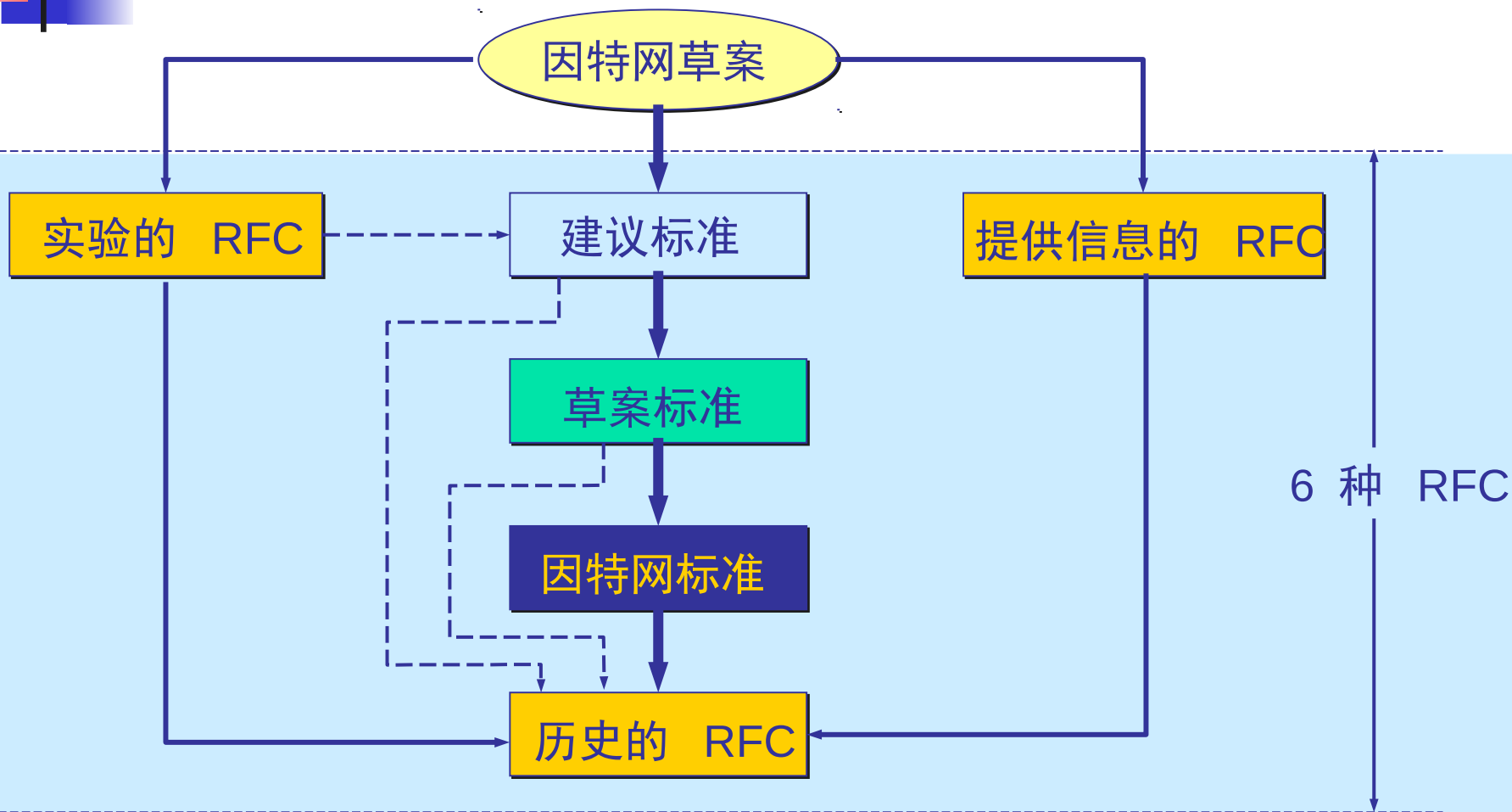


# 制订因特网的正式标准要经过 以下的四个阶段

---

- 因特网草案 (Internet Draft) —— 在这个阶段还**不是** RFC 文档。
- 建议标准 (Proposed Standard) —— 从这个阶段开始就成为 RFC 文档。
- 草案标准 (Draft Standard)
- 因特网标准 (Internet Standard)

# 各种 RFC 之间的关系





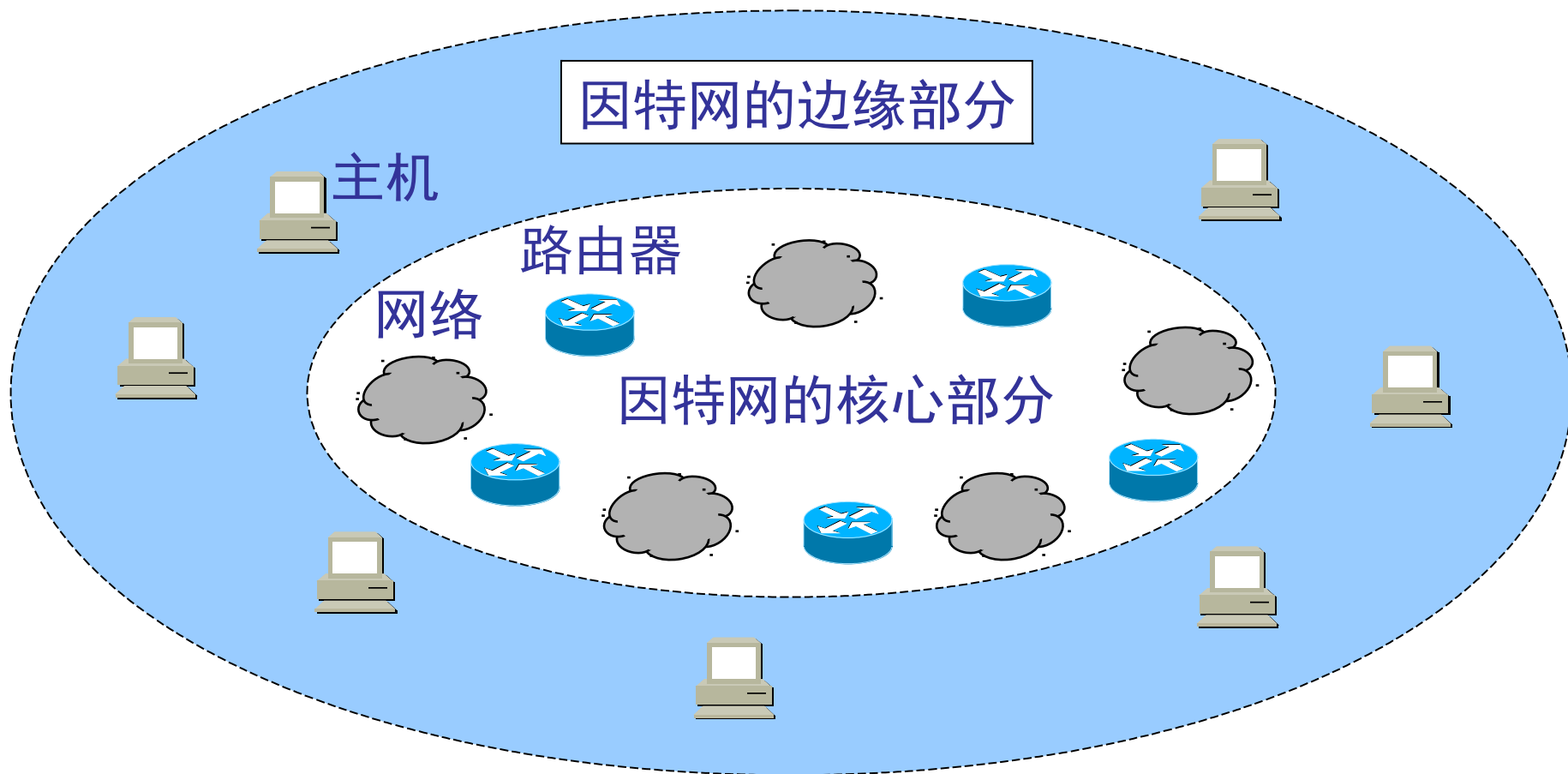
## 1.3 因特网的组成

---

从因特网的工作方式上看，可以划分为以下的两大块：

- (1) **边缘部分** 由所有连接在因特网上的主机组成。这部分是用户直接使用的，用来进行通信（传送数据、音频或视频）和资源共享。
- (2) **核心部分** 由大量网络和连接这些网络的路由器组成。这部分是为边缘部分提供服务的（提供连通性和交换）。

# 因特网的边缘部分与核心部分





## 1.3.1 因特网的边缘部分

- 处在因特网边缘的部分就是连接在因特网上的所有的主机。这些主机又称为端系统 (end system) 。
- “主机 A 和主机 B 进行通信”，实际上是指：“运行在主机 A 上的某个程序和运行在主机 B 上的另一个程序进行通信”。
- 即“主机 A 的某个进程和主机 B 上的另一个进程进行通信”。或简称为“计算机之间通信”



# 两种通信方式

---

在网络边缘的端系统中运行的程序之间的通信方式通常可划分为两大类：

- 客户服务器方式（C/S 方式）

即 Client/Server 方式

- 对等方式（P2P 方式）

即 Peer-to-Peer 方式



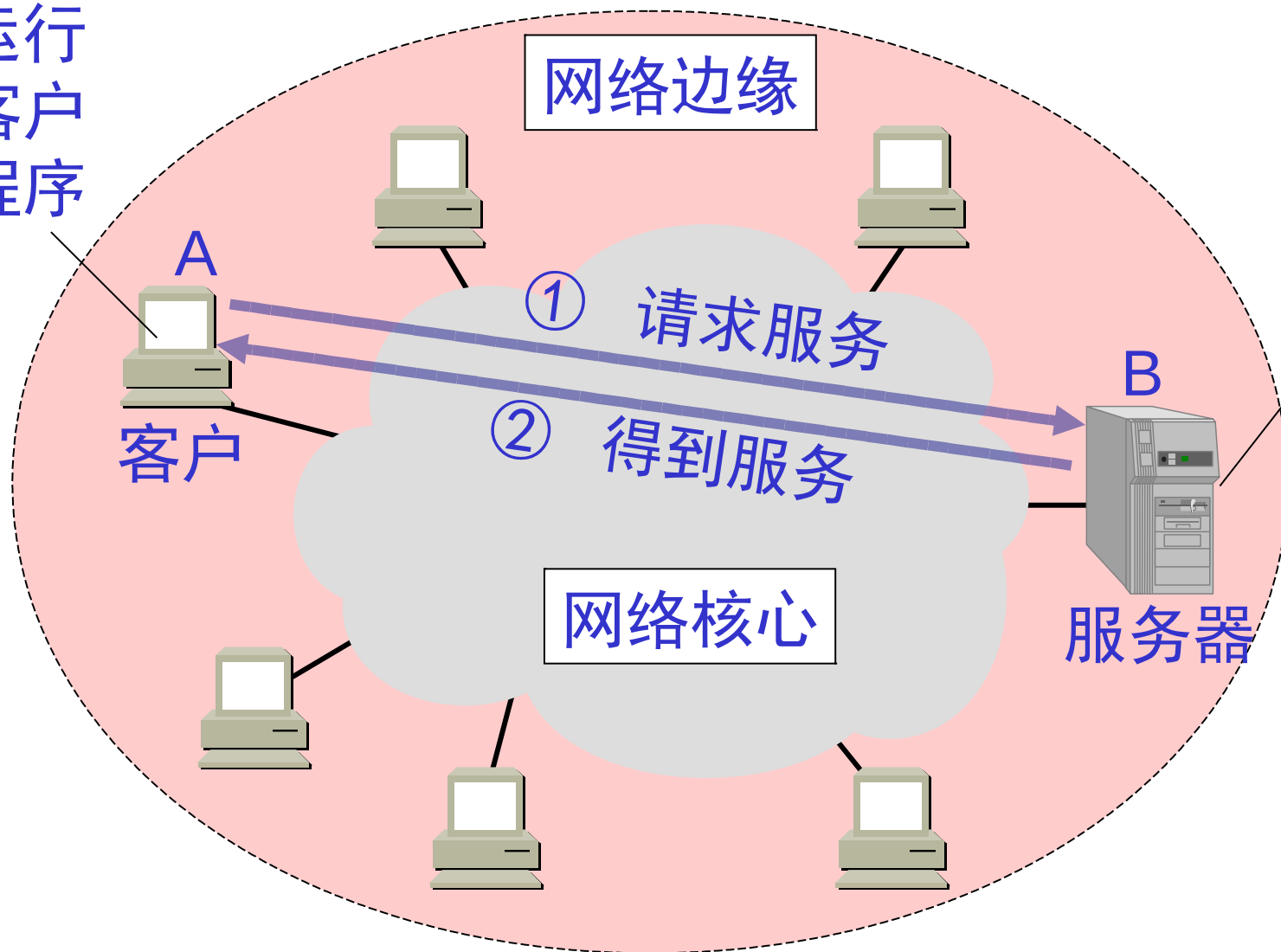
# 1. 客户服务器方式

---

- 客户 (client) 和服务器 (server) 都是指通信中所涉及的两个应用进程。
- 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。

运行  
客户  
程序

运行  
服务器  
程序



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





# 客户软件的特点

---

- 被用户调用后运行，在打算通信时主动向远地服务器发起通信（请求服务）。因此，客户程序必须知道服务器程序的地址。
- 不需要特殊的硬件和很复杂的操作系统。



# 服务器软件的特点

---

- 一种专门用来提供某种服务的程序，可同时处理多个远地或本地客户的请求。
- 系统启动后即自动调用并一直不断地运行着，被动地等待并接受来自各地的客户的通信请求。因此，服务器程序不需要知道客户程序的地址。
- 一般需要强大的硬件和高级的操作系统支持。



## 2. 对等连接方式

---

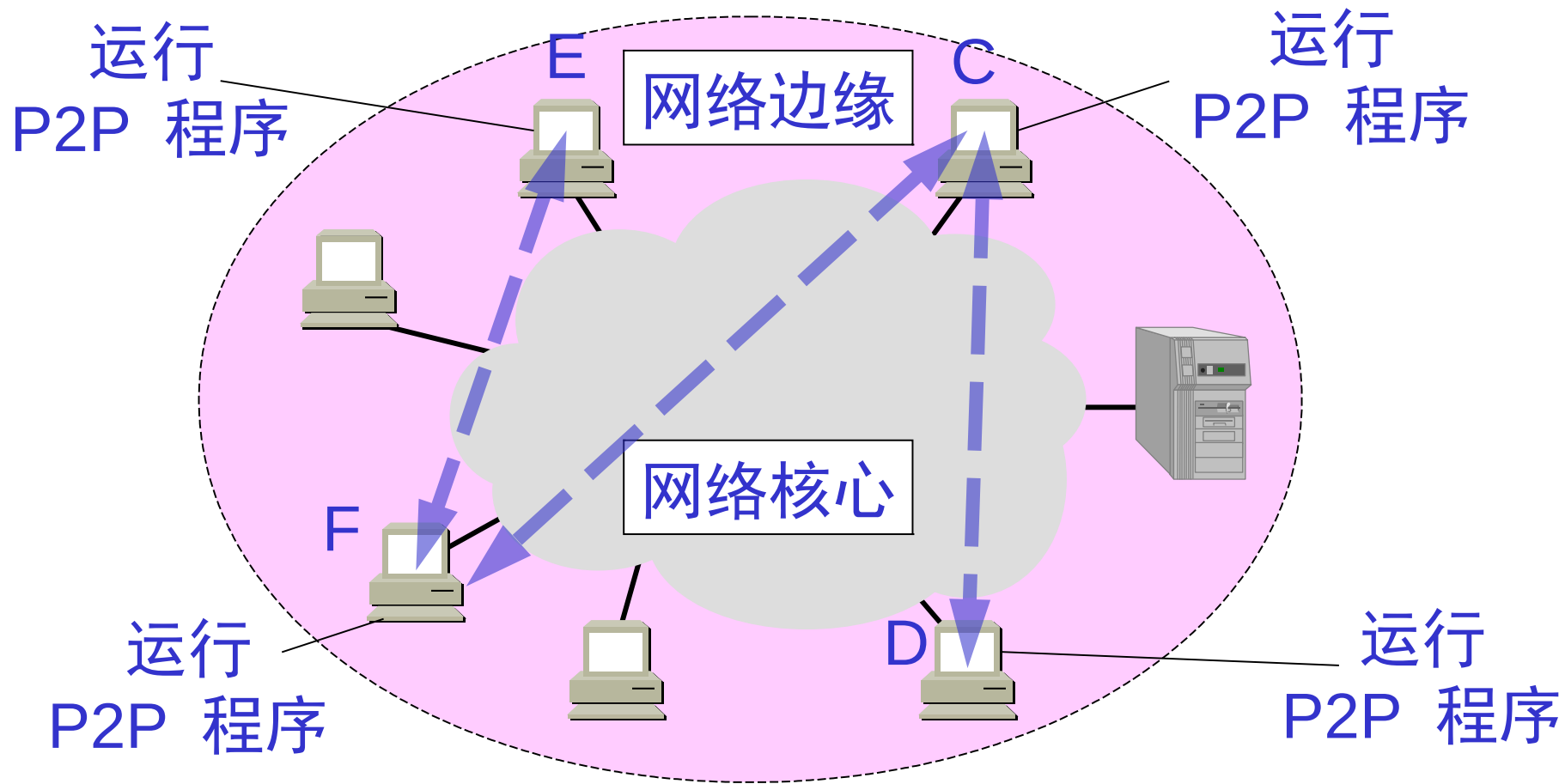
- **对等连接** (peer-to-peer, 简写为 **P2P**) 是指两个主机在通信时并不区分哪一个 是服务请求方还是服务提供方。
- 只要两个主机都运行了对等连接软件 (P2P 软件), 它们就可以进行**平等的、对等连接通信**。
- 双方都可以下载对方已经存储在硬盘中的共享文档。



# 对等连接方式的特点

---

- 对等连接方式从本质上看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同时是服务器。
- 例如主机 C 请求 D 的服务时，C 是客户，D 是服务器。但如果 C 又同时向 F 提供服务，那么 C 又同时起着服务器的作用。





## 1.3.2 因特网的核心部分

---

- 网络核心部分是因特网中最复杂的部分。
- 网络中的核心部分要向网络边缘中的大量主机提供连通性，使边缘部分中的任何一个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，这是网络核心部分最重要的功能。



# 因特网的核心部分

---

- 因特网的核心部分是由许多网络和把它们互连起来的**路由器**组成，而**主机**处在**因特网的边缘部分**。
- 在因特网核心部分的路由器之间一般都用高速链路相连接，而在网络边缘的主机接入到核心部分则通常以相对较低速率的链路相连接。
- **主机**的用途是为用户进行信息处理的，并且可以和其他主机通过网络交换信息。**路由器**的用途则是用来转发分组的，即进行分组交换的。

# 网络核心部分

路由器

网络

主机

H<sub>1</sub>

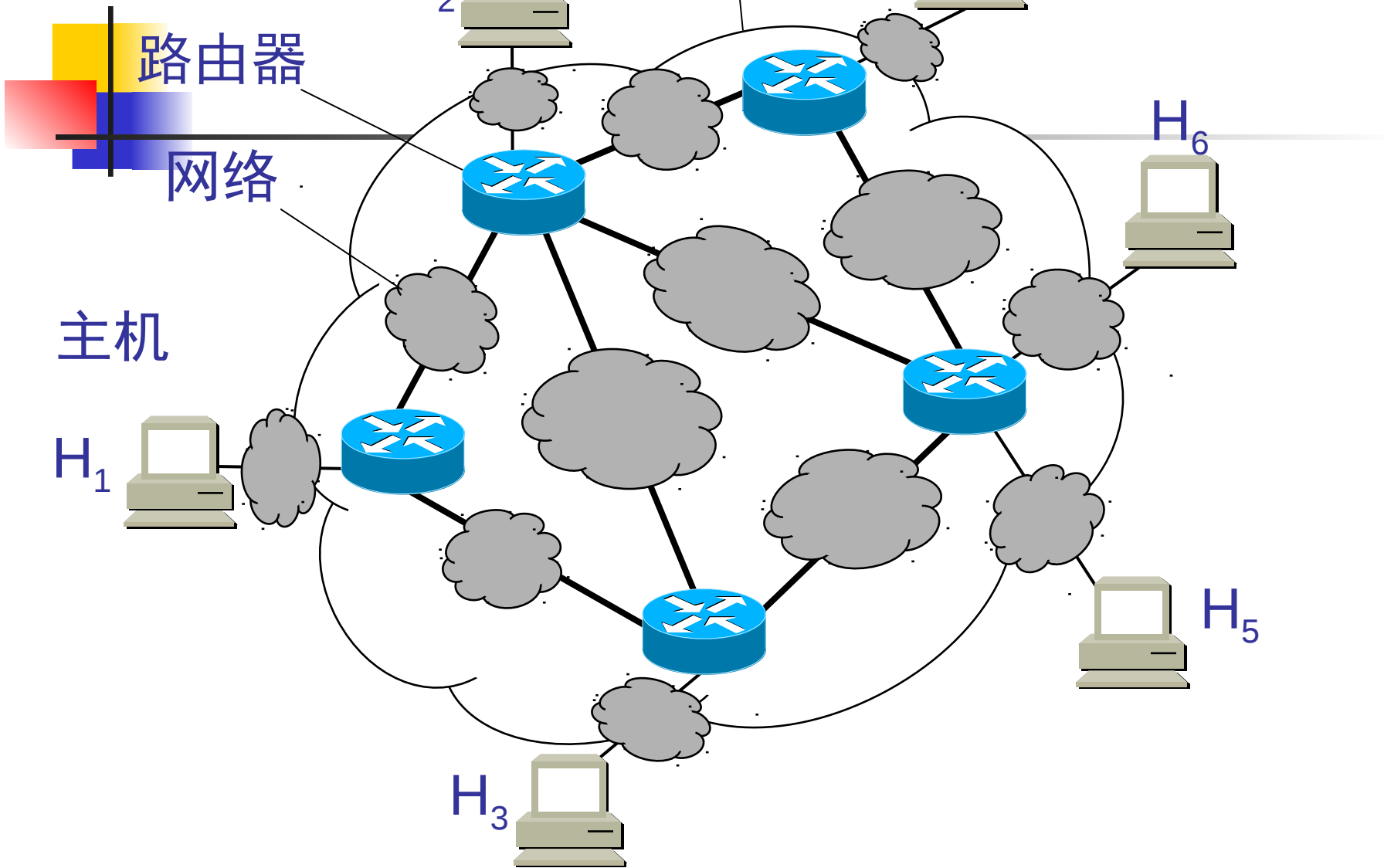
H<sub>2</sub>

H<sub>4</sub>

H<sub>6</sub>

H<sub>5</sub>

H<sub>3</sub>



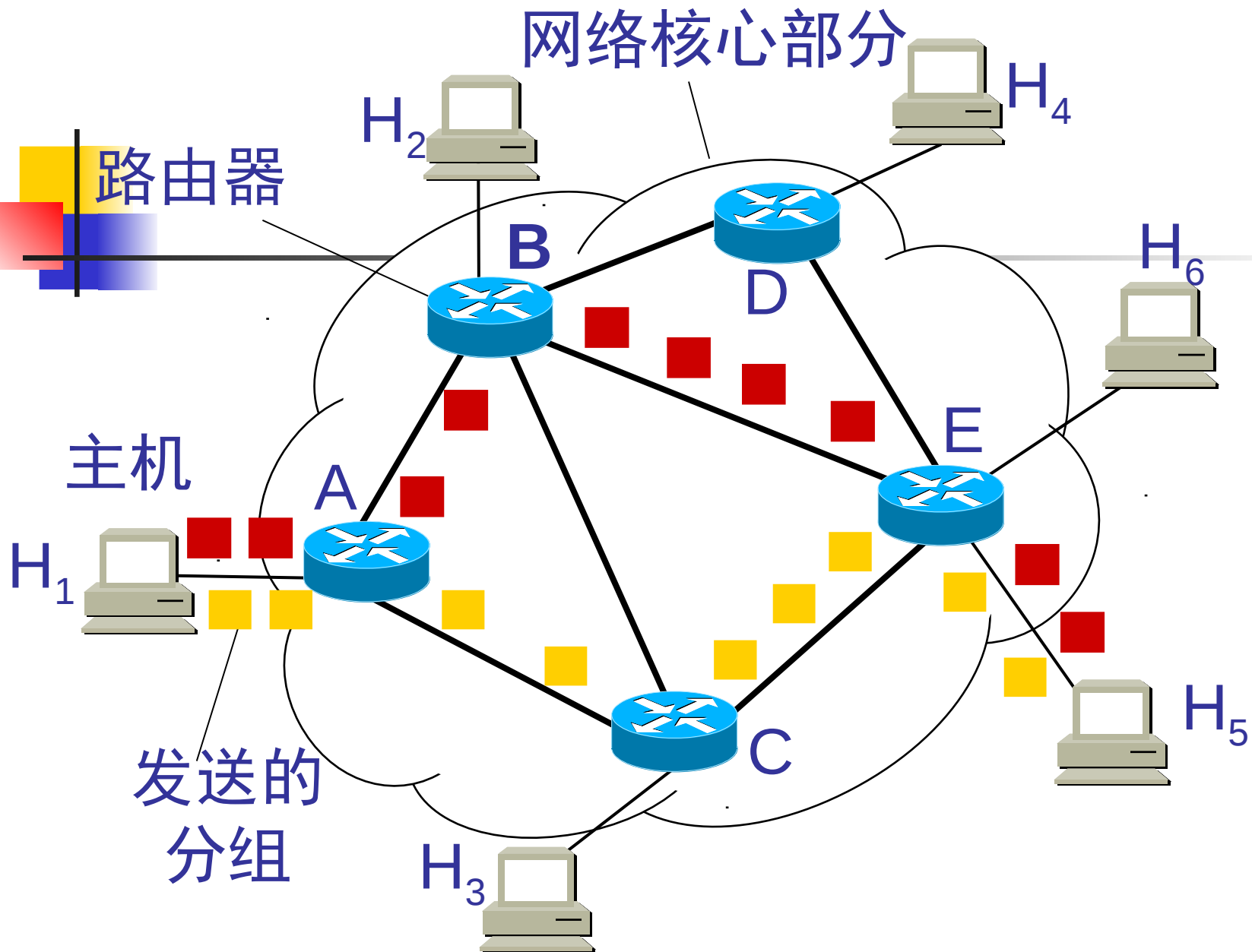


# 网络核心部分

路由器

主机

发送的  
分组





# 路由器的重要任务

---

- 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，这是网络核心部分最重要的功能。



# 交换技术

---

- 在这里，“**交换**” (switching) 的含义是：
  - **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，“交换”就是按照某种方式**动态地分配**传输线路的资源。
- 交换技术分类：
  - 电路交换 (Circuit switching)
  - 报文交换 (Message switching)
  - 分组交换 (Packet switching)



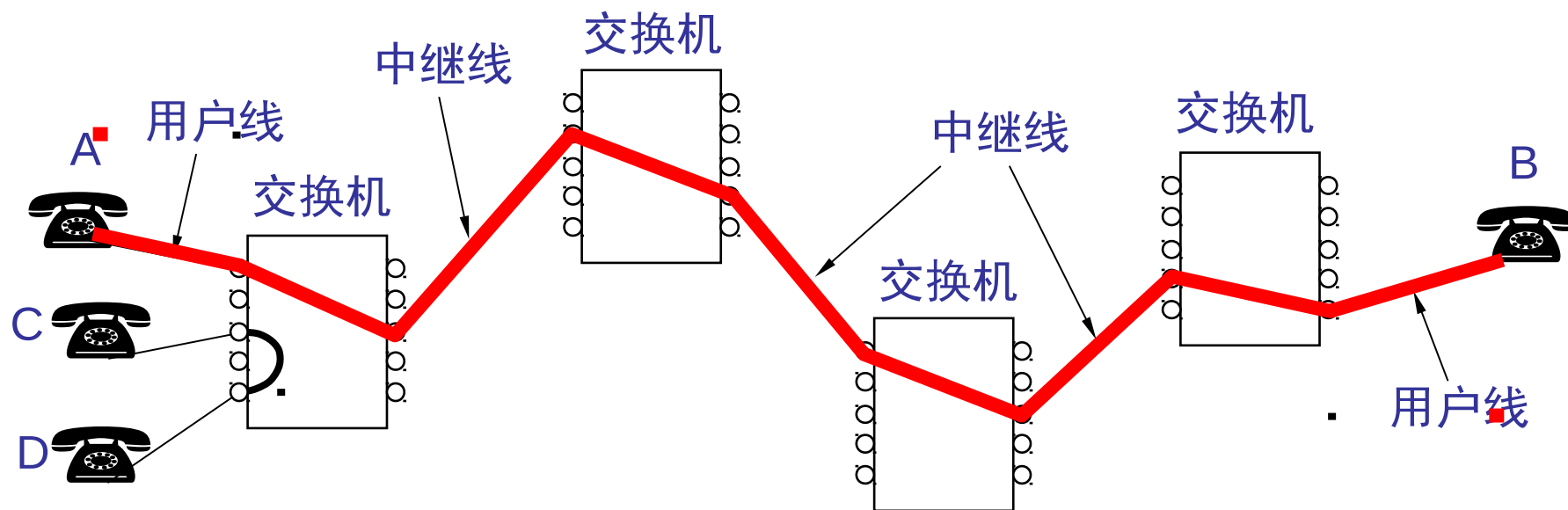
# 电路交换的特点

---

- 电路交换必定是面向连接的。
- 电路交换的三个阶段：
  - **建立连接**：在传输任何数据之前，要先经过呼叫过程建立一条端到端的电路。
  - **通信**：在整个数据传输过程中，所建立的电路必须始终保持连接状态。
  - **释放连接**：数据传输结束后，由某一方（A 或 C）发出拆除请求，然后逐节拆除到对方节点。

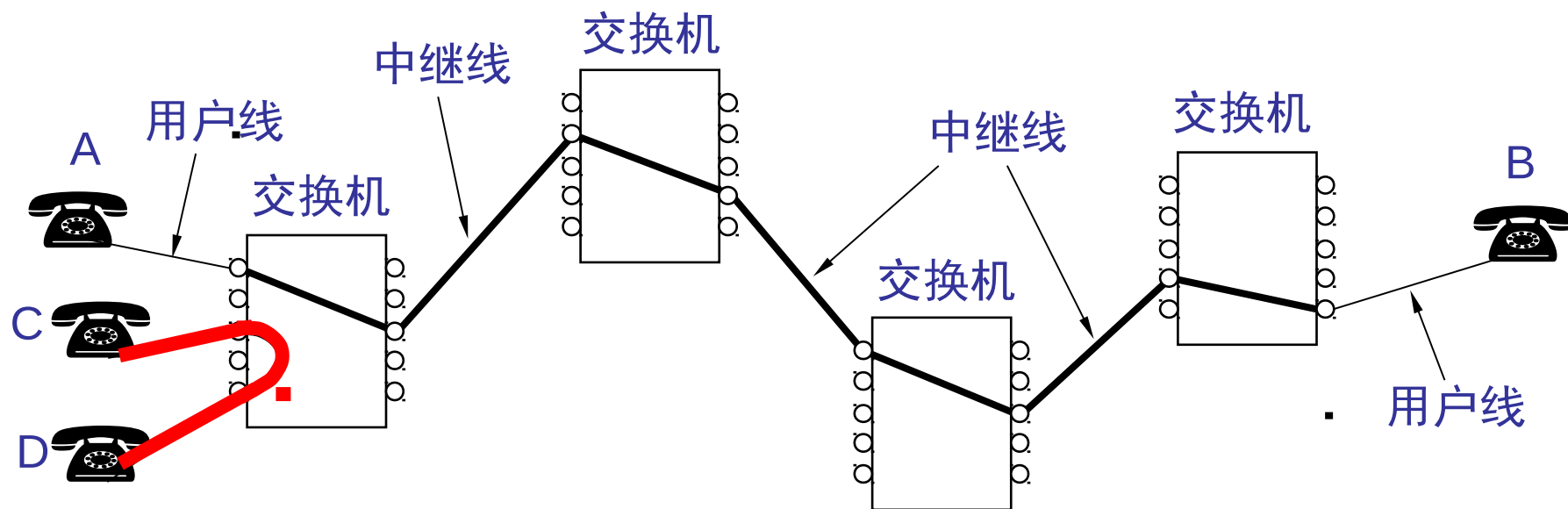
# 电路交换举例

- A 和 B 通话经过四个交换机
- 通话在 A 到 B 的连接上进行



# 电路交换举例

- C 和 D 通话只经过一个本地交换机
- 通话在 C 到 D 的连接上进行





# 电路交换

## 电路交换技术的优缺点及特点

**1) 优点：**数据传输可靠、迅速，数据不会丢失且保持原来的序列。实时性强，适用于交互式会话类通信；

**2) 缺点：**电路建立和拆除的时间较长，且在这期间，电路不能被共享，资源被浪费，因此，适用于系统间要求高质量的大量数据传输的情况；对突发性通信不适应，系统效率低，系统不具有存储数据的能力，不能平滑交通量

**3) 特点：**在数据传送开始之前必须先设置一条专用的通路。在线路释放之前，该通路由一对用户完全占用。对于猝发式的通信，电路交换效率不高。



# 报文交换

---

问题的提出：当端点间交换的数据具有随机性和突发性时，采用电路交换方法的缺点是信道容量和有效时间的浪费。采用报文交换则不存在这种问题。





# 报文交换

---

## ■ 原理：

- 以站点一次性要发送的数据块作为一个报文，其长度不限且可变。采用**存储-转发方式**，源点将报文送给与它相连接的中间节点，中间节点存储后再转发，直至报文到达目的站点。
- 在交换节点中需要缓冲存储，报文需要排队，故报文交换**不能满足实时通信的要求**。



# 报文交换

---

## ■ 报文交换的缺点

1) 报文经过网络的延迟时间长且不定，不能满足实时或交互式的通信要求。

2) 当信道误码率高时大报文出错率高，需频繁重发。

3) 有时节点收到过多的数据而无空间存储或不能及时转发时，就不得不丢弃报文。



# 存储－转发方式与电路交换的区别

---

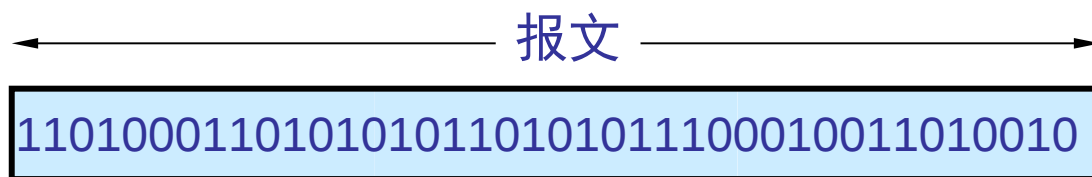
- “存储－转发”方式发送的数据与目的地址、源地址、控制信息按一定格式组成一个数据单元在网络中传输。
- 结点是交换结点，它负责数据单元的接受、差错校验、存储、路由选择、转发功能。



# 分组交换的原理（一）

---

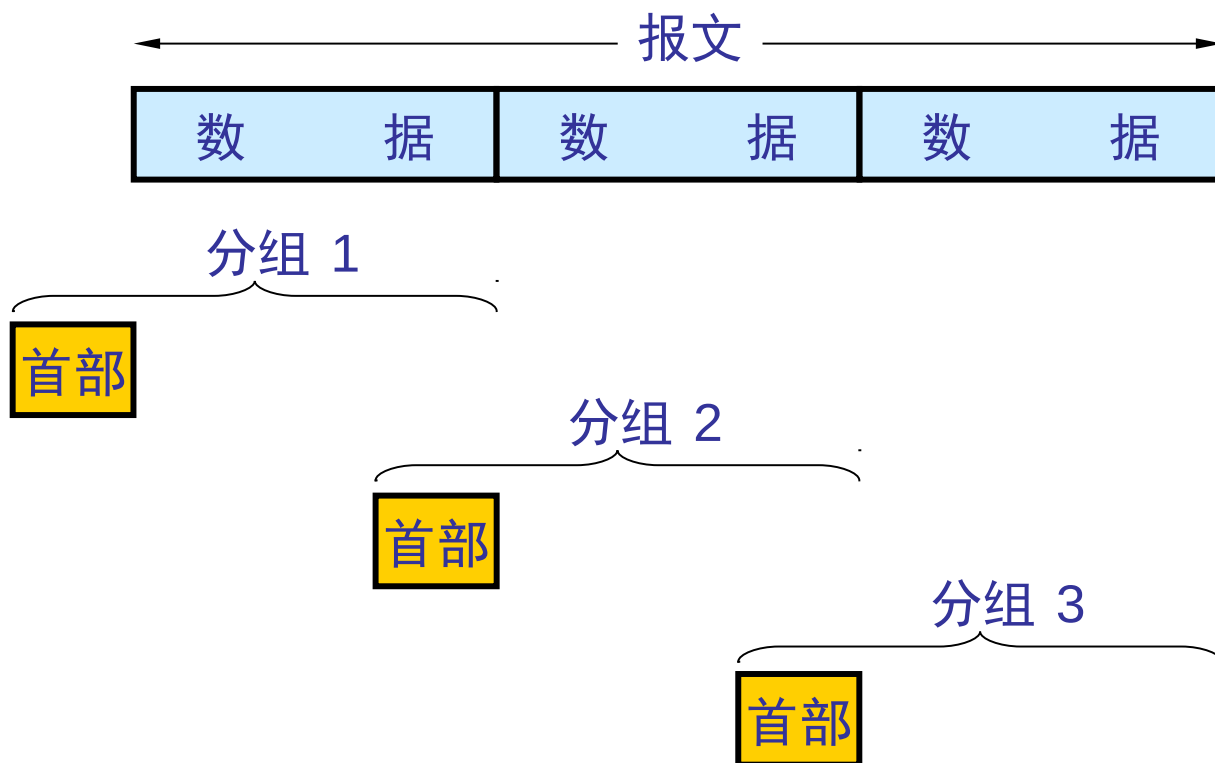
- 分组交换是对报文交换方式的改进
- 在发送端，先把较长的报文划分成较短的、固定长度的数据段。



假定这个报文较长  
不便于传输

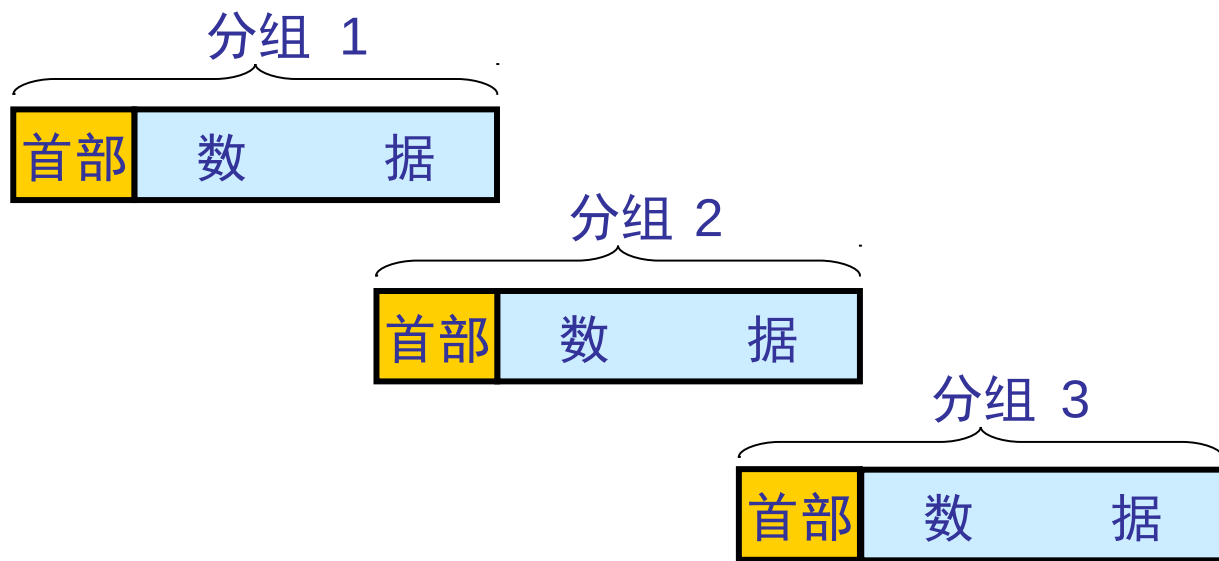
## 分组交换的原理（二）

- 每一个数据段前面添加上首部构成分组。



## 分组交换的原理（三）

- 分组交换网以“**分组**”作为数据传输单元。
- **依次**把各分组发送到接收端（假定接收端在左边）。





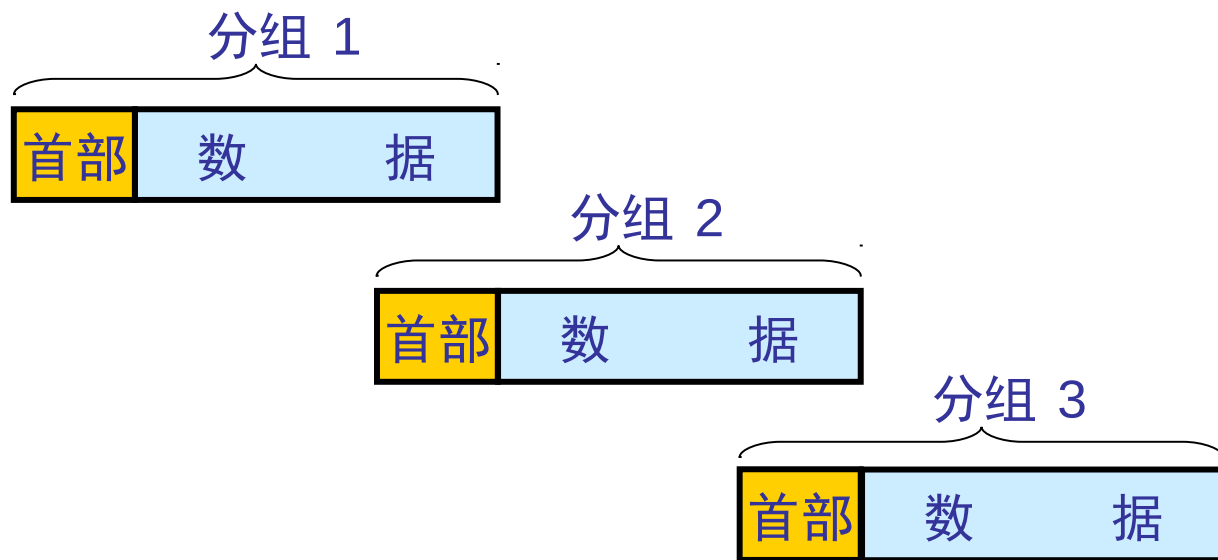
# 分组首部的重要性

---

- 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。
- 用这样的存储转发方式，最后分组就能到达最终目的地。

# 分组交换的原理（四）

- 接收端收到分组后剥去首部还原成报文。



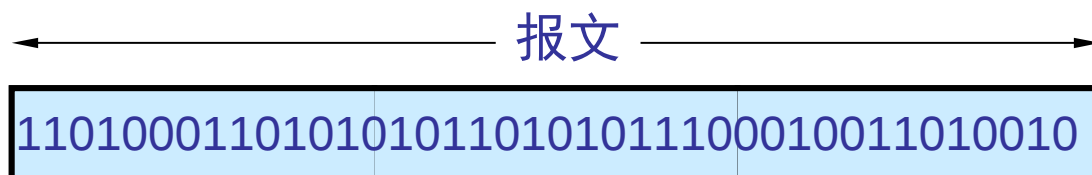
收到的数据





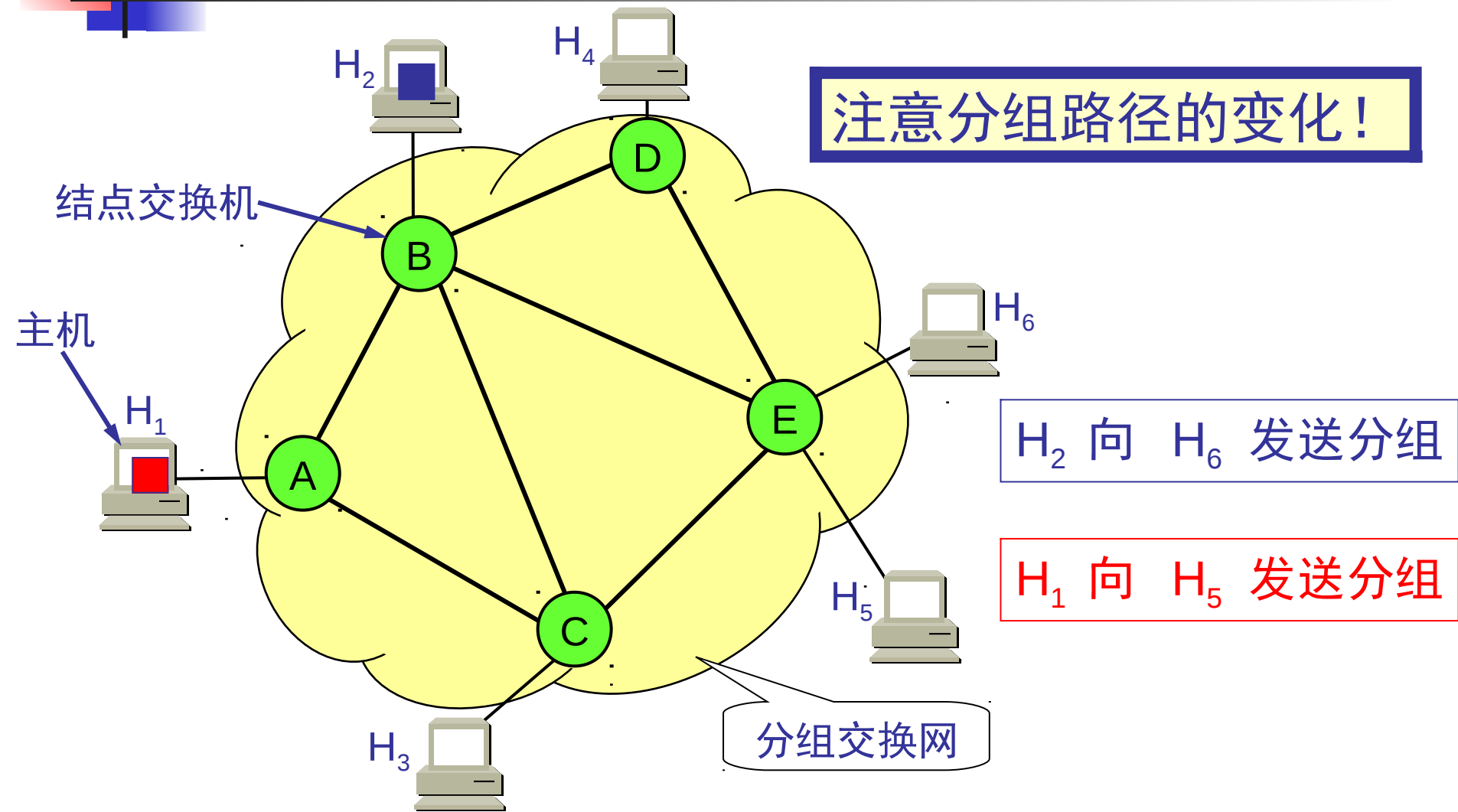
## 分组交换的原理（五）

- 最后，在接收端把收到的数据恢复成为原来的报文。

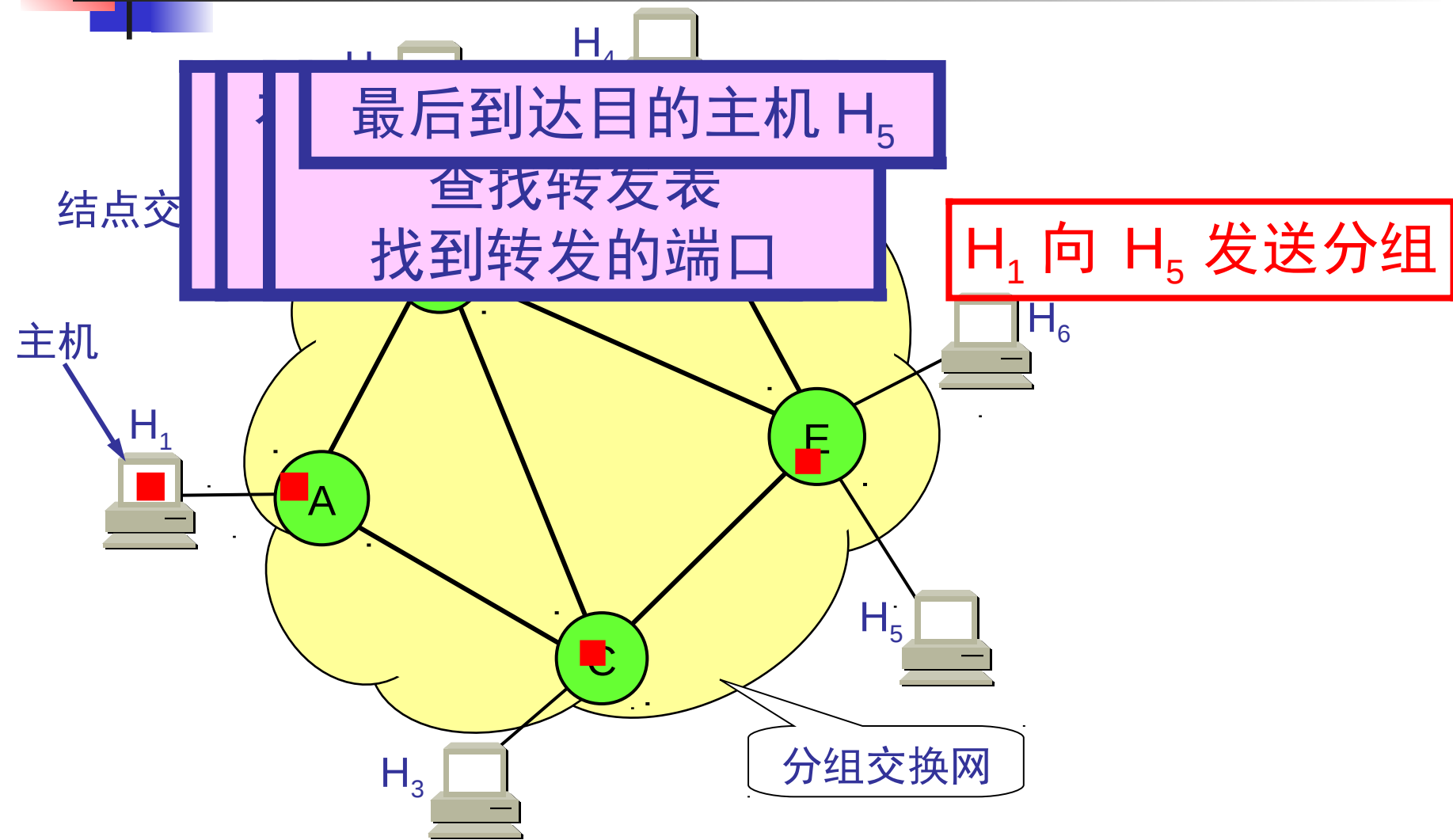


- 这里我们假定分组在传输过程中没有出现差错，在转发时也没有被丢弃。

# 分组交换网的示意图



# 注意分组的存储转发过程





# 路由器

---

- 在路由器中的输入和输出端口之间**没有直接连线**。
- 路由器处理分组的过程是：
  - 把收到的分组先放入**缓存（暂时存储）**；
  - 查找**转发表**，找出到某个目的地址应从哪个端口转发；
  - 把分组送到适当的**端口**转发出去。



# 主机和路由器的作用不同

---

- 主机是为用户进行信息处理的，并向网络发送分组，从网络接收分组。
- 路由器对分组进行存储转发，最后把分组交付目的主机。



# 分组交换的优点

---

- **高效** 动态分配传输带宽，对通信链路是逐段占用。
- **灵活** 以分组为传送单位和查找路由。
- **迅速** 不必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；分布式的路由选择协议使网络有很好的生存性。



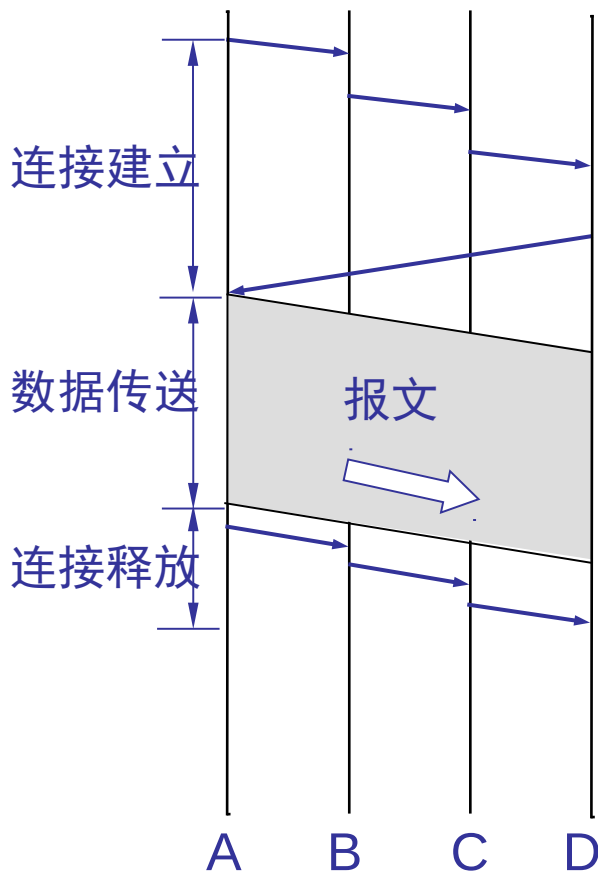
# 分组交换带来的问题

---

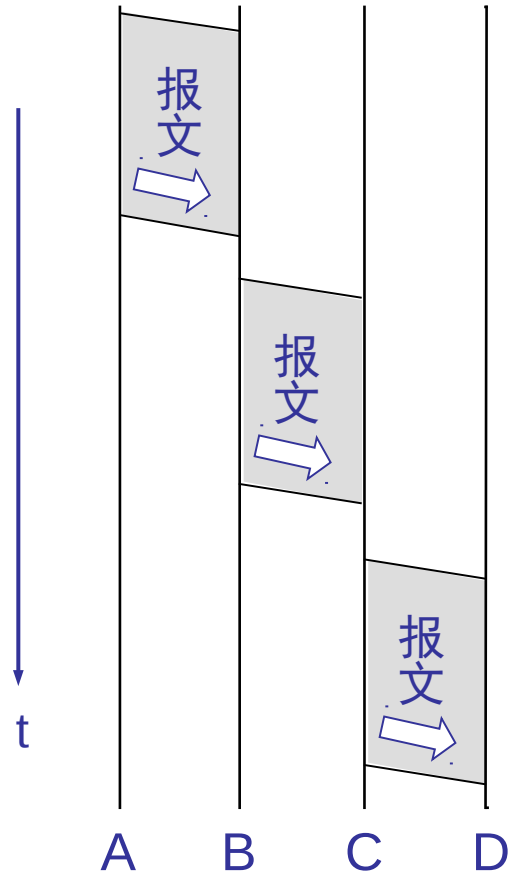
- 分组在各结点存储转发时需要**排队**，这就会造成一定的**时延**。
- 分组必须携带的首部（里面有必不可少的控制信息）也造成了一定的**开销**。
- 需要解决由于分组丢失、重复和次序混乱带来的问题，以确保接收端能够准确无误地恢复原来的报文。
- 分组交换又分为两种：**数据报服务和虚电路服务**

# 三种交换的比较

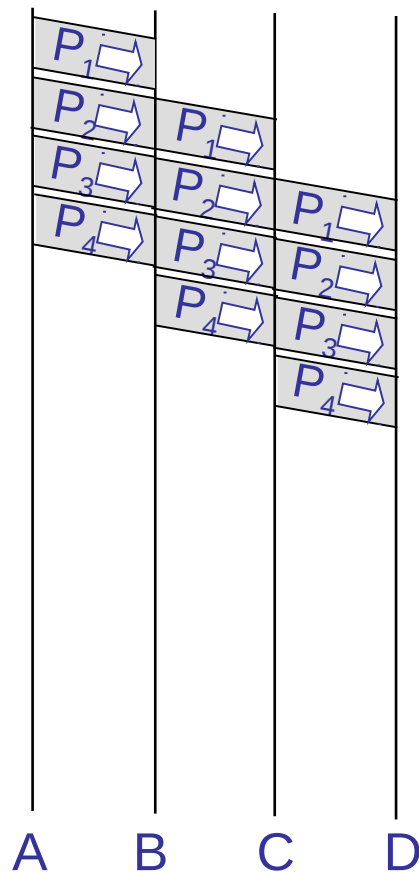
## 电路交换



## 报文交换

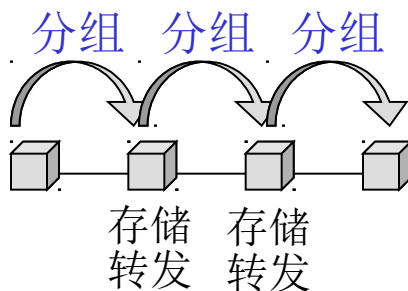
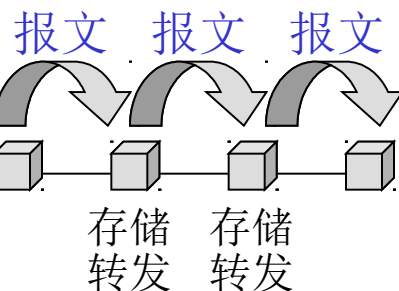
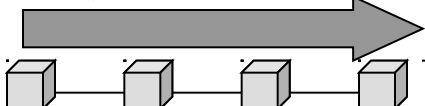


## 分组交换



数据传送  
的特点

比特流直达终点







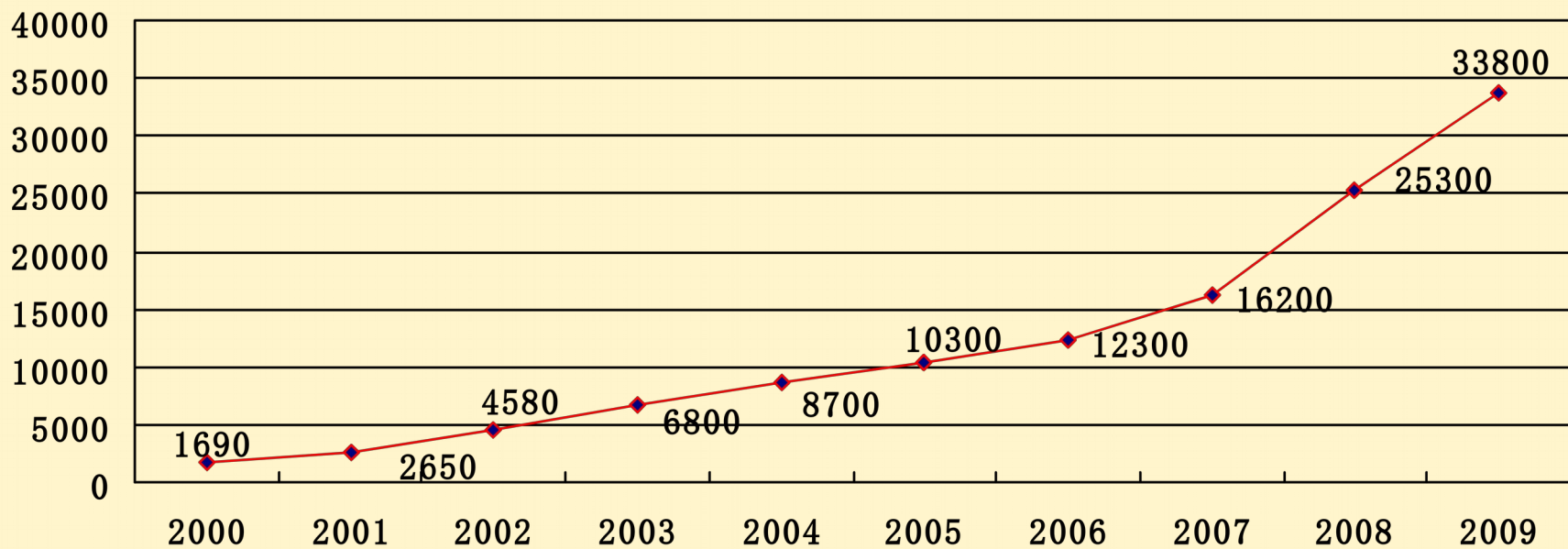
## 1. 4 计算机网络在我国的发展

---

- (1) 中国公用计算机互联网 CHINANET
- (2) 中国教育和科研计算机网 CERNET
- (3) 中国科学技术网 CSTNET
- (4) 中国联通互联网 UNINET
- (5) 中国网通公用互联网 CNCNET
- (6) 中国国际经济贸易互联网 CIETNET
- (7) 中国移动互联网 CMNET
- (8) 中国长城互联网 CGWNET (建设中)
- (9) 中国卫星集团互联网 CSNET (建设中)

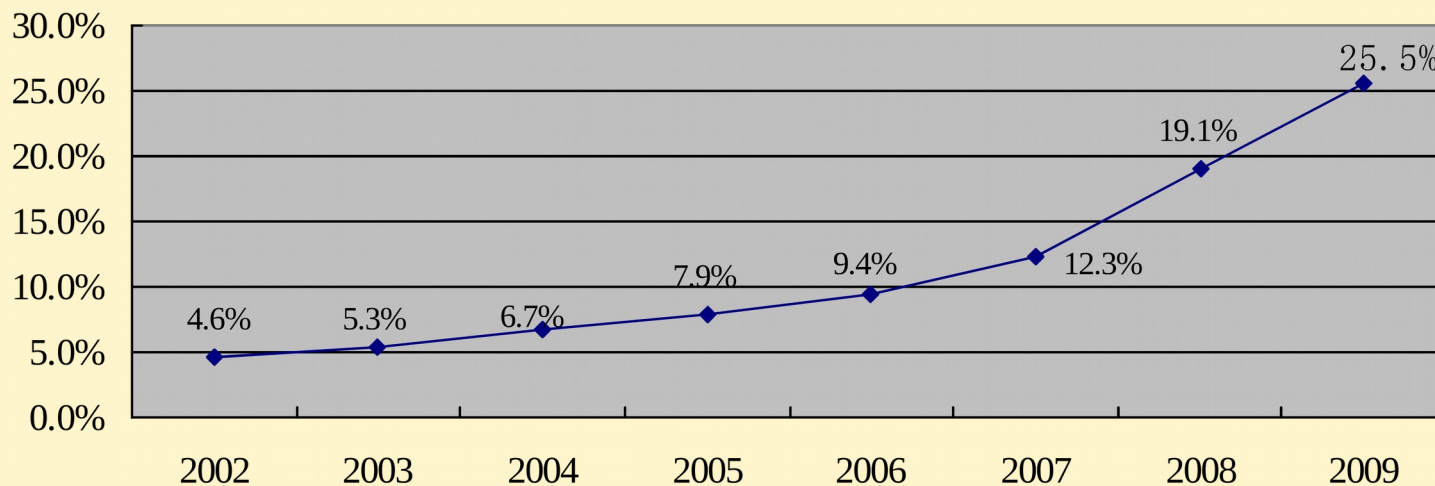
# 我国因特网应用的发展情况

截止到 2009 年 6 月底，我国网民数量已经达到 3.38 亿，居世界第一。



# 我国因特网普及率的增长

- 2009 年 6 月，我国互联网普及率达到 25.5% ，超过国际互联网平均普及率 23.8% 。
- 由于我国的人口基数大，在互联网普及率上与互联网应用发展较发达的美国、日本、韩国、俄罗斯相比有一定的差距。





# 我国因特网网民接入方式的变化

---

- 2009 年 6 月底，我国网民采用宽带方式接入互联网的比例高达 94.3%，宽带网民数已达到 3.2 亿。
- 2009 年 6 月底，我国使用手机上网的网民上升到 1.55 亿人，占网民数的 45.9%，手机网民规模呈现出迅速增长的势头。

。



# 我国 IP 地址、域名、国际出口带宽增长情况

---

- 2009 年 6 月底，我国 IPv4 地址拥有数达到 2.05 亿个，年增长率达到 29.7%。
- 2009 年 6 月底，我国注册的域名总量为 1.63 亿个，其中 .cn 域名数量占我国域名数量的 66.8%；.com.cn 的域名占 25%。
- 2009 年 6 月底，我国互联网国际出口带宽达到 747.541Gbps，较 2008 年同期增长 51.4%。

# 我国因特网应用情况分析

排名	应用	使用率	类别
1	网络音乐	85.5%	网络娱乐
2	网络新闻	78.7%	信息获取
3	即时通信	72.2%	交流沟通
4	搜索引擎	69.4%	信息获取
5	网络视频	65.8%	网络娱乐
6	网络游戏	64.2%	网络娱乐
7	电子邮件	55.4%	交流沟通
8	博客应用	53.8%	交流沟通
9	论坛 /BBS	30.4%	交流沟通
10	网络购物	26.0%	商务交易
11	网上支付	22.4%	商务交易
12	网络炒股	10.4%	商务交易
13	旅行预订	4.1%	商务交易



# 1.5 计算机网络的分类

---

## ■ 1.5.1 计算机网络的不同定义

- 最简单的定义：计算机网络是一些互相连接的、自治的计算机的集合。
- **计算机网络**：是一个复合系统，它将分散于各地的具有**自主功能**的计算机、终端或其它设备通过各种通信手段互连起来，以便进行**数据通信、信息交换、资源共享或协同工作**。
- 因特网 (Internet) 是“网络的网络”。

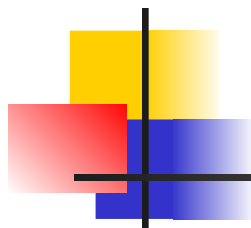


# 计算机网络的基本特征

---

1. 计算机网络建立的主要目的是实现计算机资源的共享（硬件、软件、数据共享）；
2. 互连的计算机是分布在不同地理位置的多台独立的“自治计算机” (Autonomous Computer) ；
3. 连网计算机必须遵循全网统一的网络协议；





## 1.5.2 计算机网络的分类

---

- 几种不同的分类方法
  - 从网络的作用范围进行分类
  - 从网络的使用者进行分类
  - 按传输技术分类

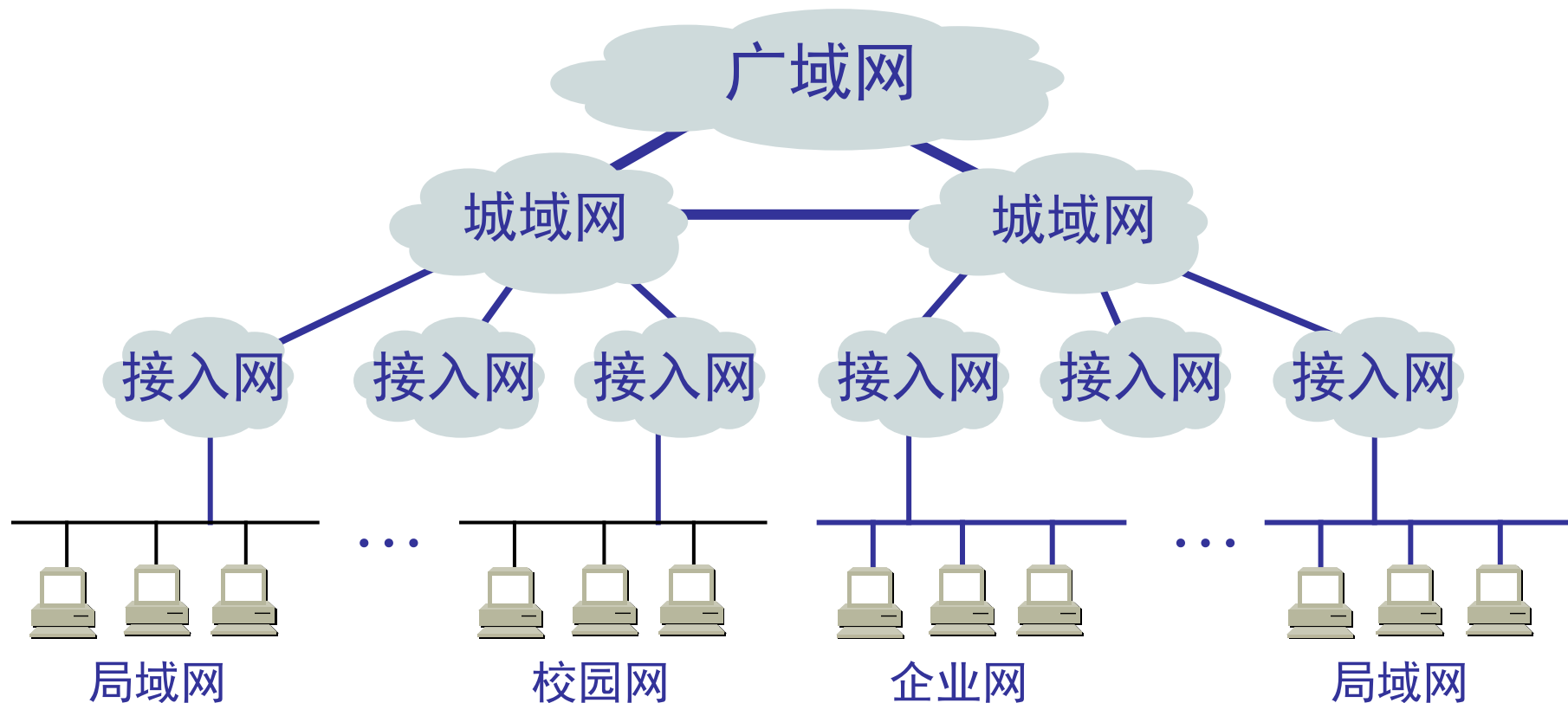


# 几种不同的分类方法

---

- 从网络的作用范围进行分类
  - 广域网 **WAN** (Wide Area Network)
  - 局域网 **LAN** (Local Area Network)
  - 城域网 **MAN** (Metropolitan Area Network)
  - 接入网 **AN** (Access Network)

# 广域网、城域网、接入网以及局域网的关系



# 局域网 (Local Area Network , LAN)

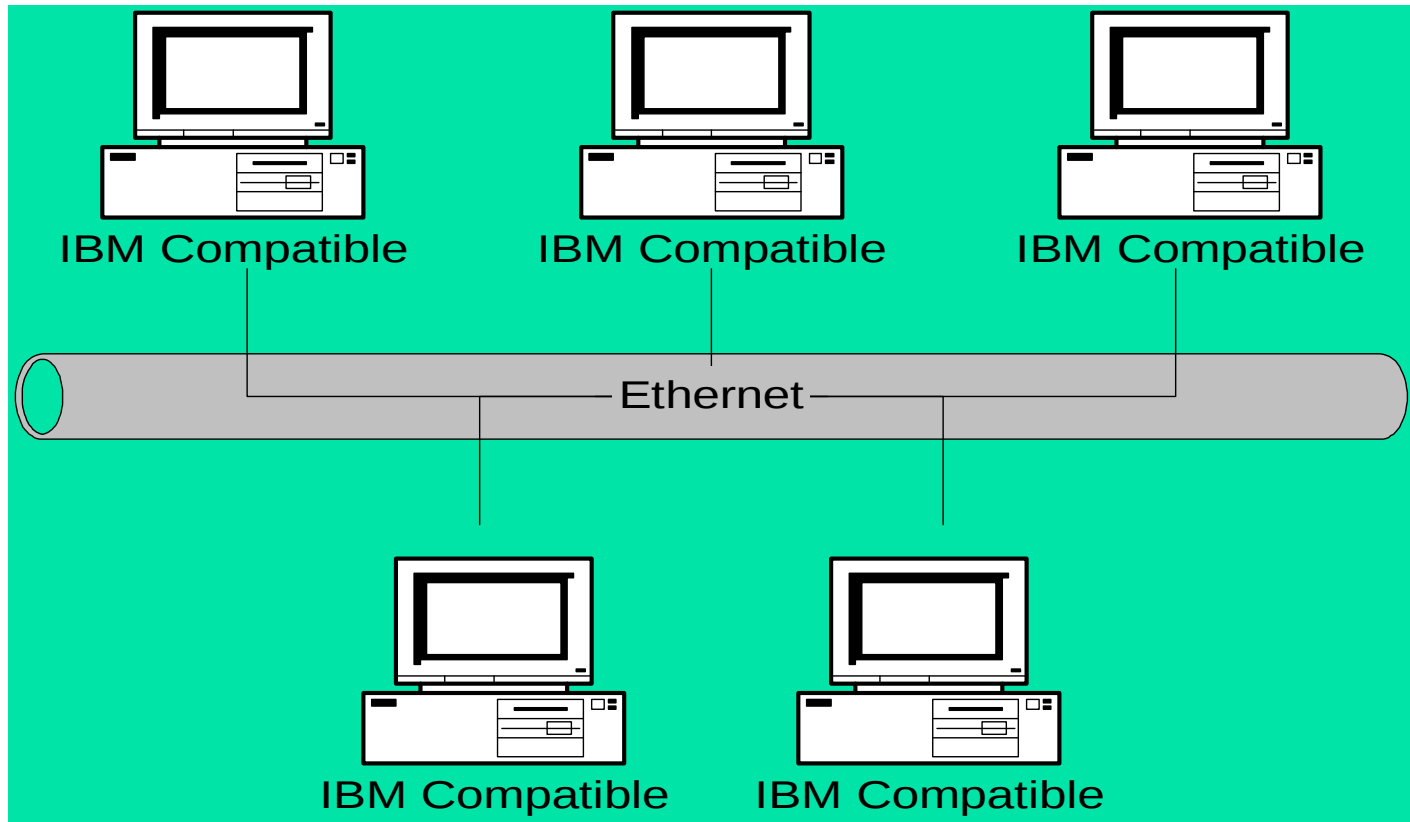
## ■ 特征：

1. 分布在单个办公室、楼宇或校园中，由一个组织所有
2. 范围较小，局限于几公里
3. 单一的传输介质和拓扑结构，大多数采用总线、环形或星型结构，介质使用双绞线、同轴电缆等
4. 速率一般在 10M – 1000 Mbps 左右

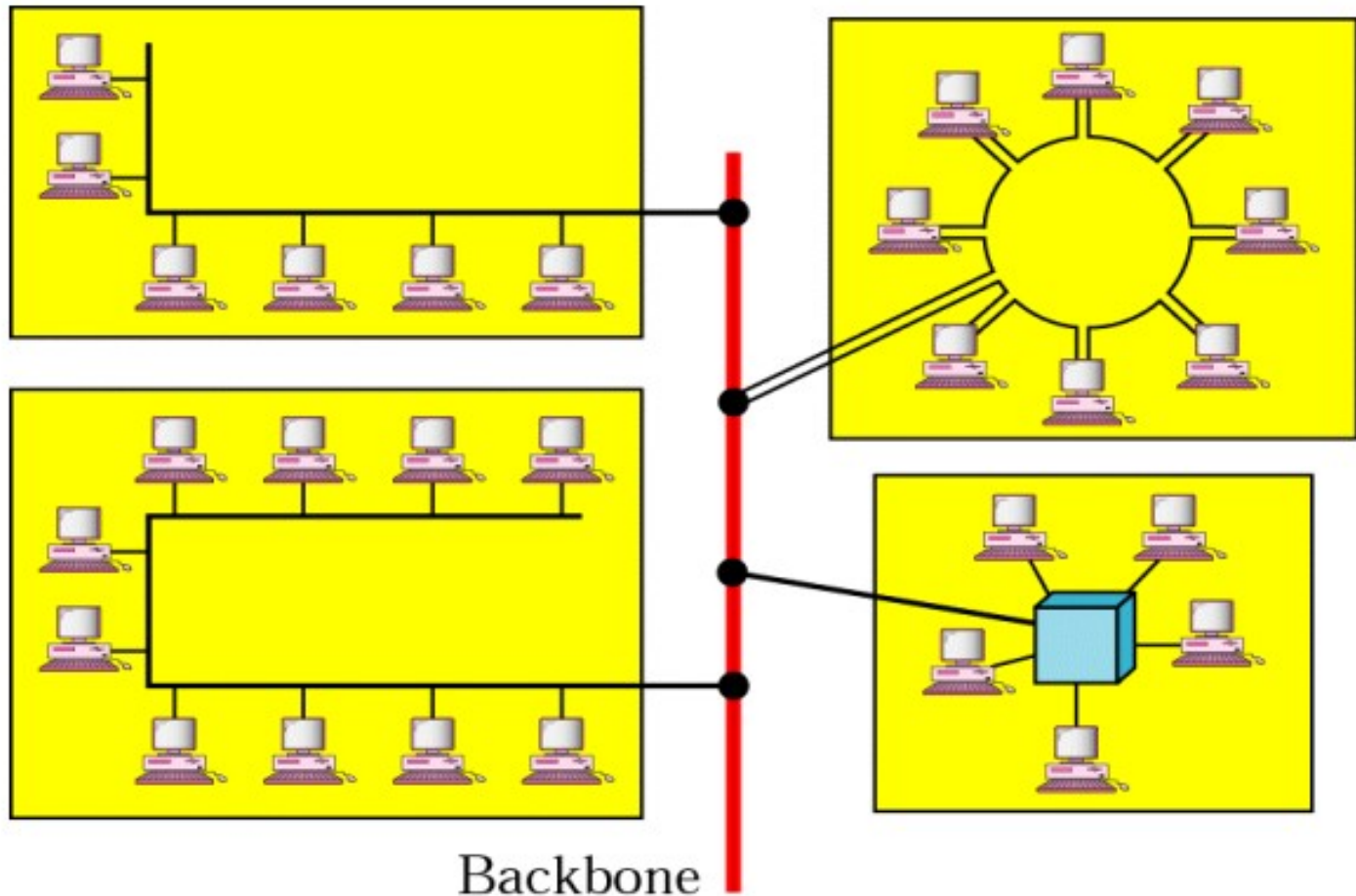
## ■ 典型特点：

- 距离短、通信时延小 ( 几十  $\mu\text{s}$  )、数据速率高、误码率低 (  $10^{-8}$  –  $10^{-11}$  )

# 局域网举例： Ethernet



# 局域网举例



Backbone  
b. Multiple-building LAN

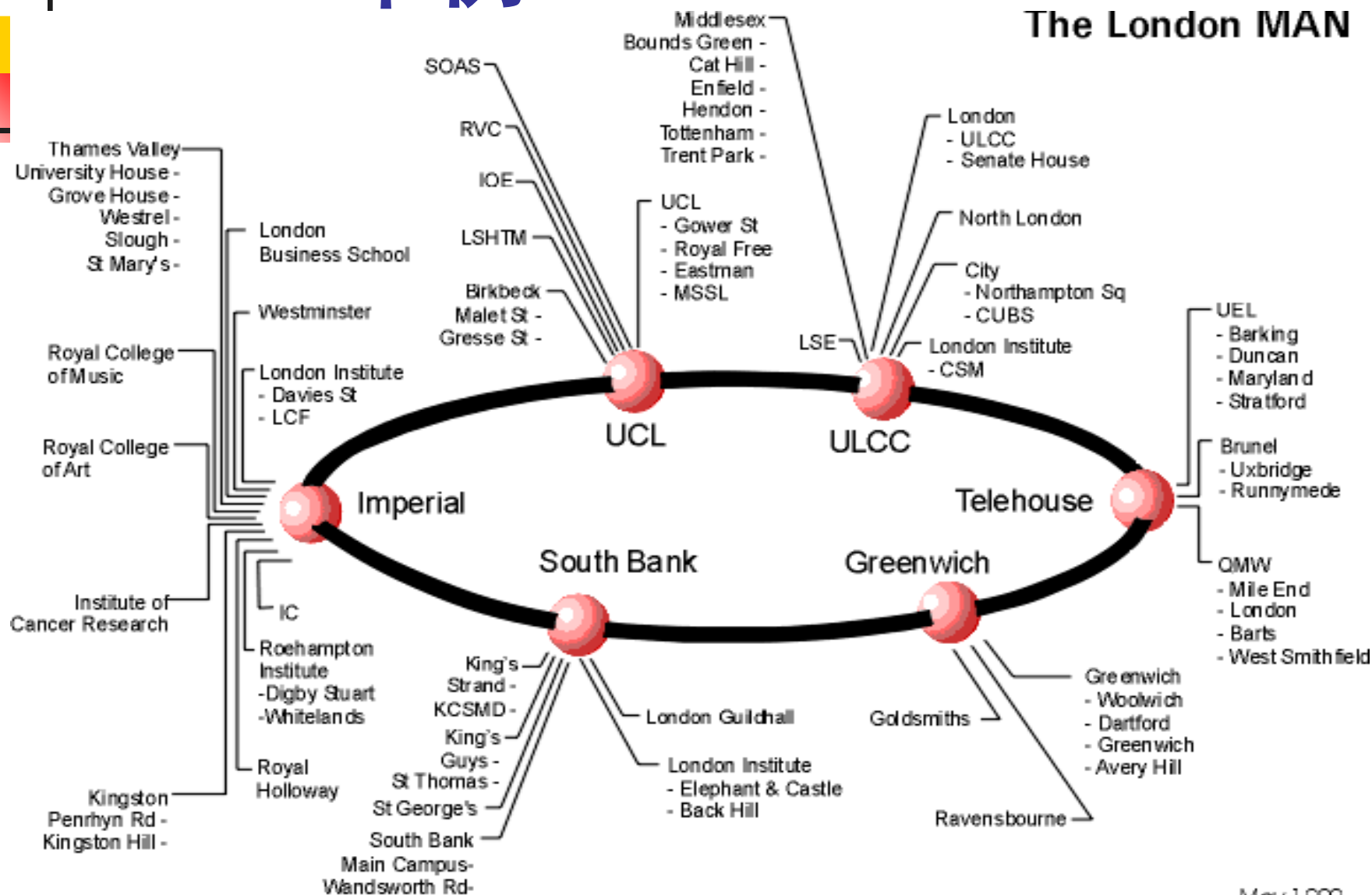


# 城域网 (Metropolitan Area Network, MAN)

---

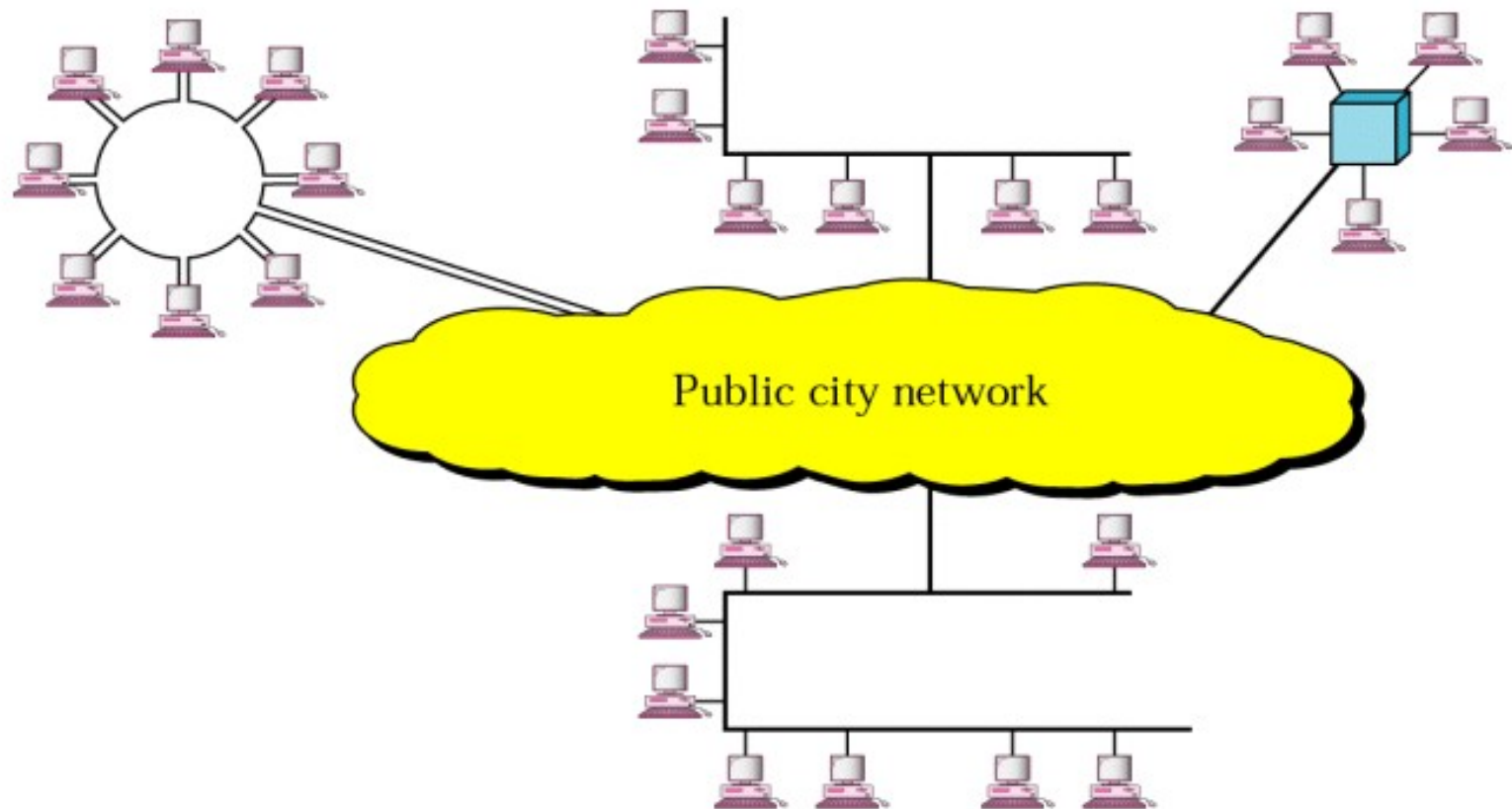
- 特征：
  - 1. 范围扩充到整个城市
  - 2. 可以是单一网络，如有线电视网；也可以由若干个 LAN 连接而成
  - 3. 可由一个单个公司拥有，也可由公共服务公司如电话公司来维护
  - 4. 可传输数据、音频和视频信息，互连局域网等
- 目前用作城域网的网络，主要有 DQDB、FDDI 等。

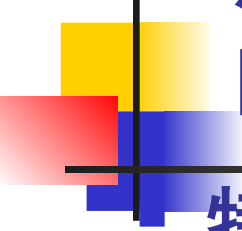
# MAN 举例





# MAN 举例





# 广域网 (Wide Area Network, WAN)

---

## 特征:

- 1. 范围扩充到整个国家乃至全世界
- 2. 能够提供数据、语音、图像和视频的远程传输，能实现广大范围内的资源共享
- 3. 拓扑结构不规则，为点到点。通过公共、租用或私有线路，跨越各种网络，延迟大，出错率高
- 4. 可以由单一公司所拥有（如公司 **WAN**），也可以是公共网络（如 **Internet**）
- 广域网一般由资源子网与通信子网组成。
  - 主机之间通过通信子网来传递信息，它利用公用网络系统（如公用电信网）作为通信子网来进行通信



# 广域网传输系统

---

- 通信子网分为三类：

- (1) 拨号（电路交换）

- 如公用电话网（PSTN）

- 窄带 ISDN（N-ISDN，即“一线通”）

- (2) 分组（帧）交换

- 如 X.25 网、帧中继（Frame Relay）、ATM

- (3) 专线

- 如 DDN 网

- 性能：

- 一般，跟局域网相比，广域网的传输速率较低，误码率较高。



# 用来把用户 接入到因特网的网络

---

- **接入网** AN (Access Network) ， 它又称为本地接入网或居民接入网。
- 由 ISP 提供的接入网只是起到让用户能够与因特网连接的“桥梁”作用。



## 2. 不同使用者的网络

---

- 从网络的使用者进行分类
  - 公用网 (public network)
  - 专用网 (private network)



### 3. 按传输技术分

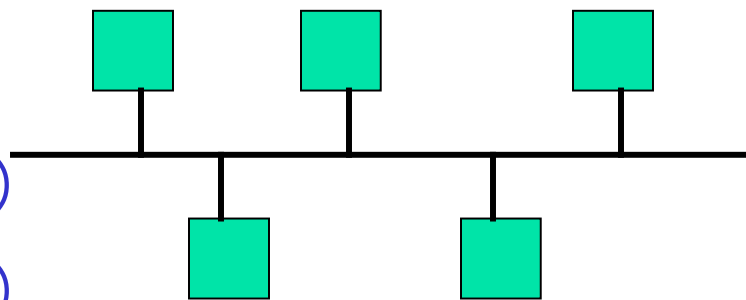
---

◆ 广播方式

◆ 点 - 点方式

# 广播网

- 定义：所有计算机共享同一条通信信道。
- 特征：任一台机器发出的消息能被所有其它机器接收到。
- 例如：Ethernet、Token Ring
- 目的地址类型：
  - 单点地址 (Unicast)
  - 广播地址 (Broadcast)
  - 组播地址 (Multicast)



# 点-点网

## ■ Peer-to-Peer

- 点对点为两个设备之间提供了一个专用的链路，所有的容量都给这两个设备。
- 电缆、微波或卫星。
- e. g. 两台电脑用串口连接。

A

B







# 1.6 计算机网络的性能

## 1.6.1 计算机网络的性能指标

---

### 1. 速率

- **比特**（bit）是计算机中数据量的单位，也是信息论中使用的信息量的单位。
- Bit 来源于 binary digit，意思是一个“**二进制数字**”，因此一个比特就是二进制数字中的一个 1 或 0。
- **速率即数据率** (data rate) 或 **比特率** (bit rate) 是计算机网络中最重要的一個性能指标。速率的单位是 b/s，或 kb/s, Mb/s, Gb/s 等
- 速率往往是指**额定速率**或**标称速率**。



## 2. 带宽

---

- “**带宽**” (bandwidth) 本来是指信号具有的频带宽度，单位是赫（或千赫、兆赫、吉赫等）。
- 现在“带宽”是指**数字信道所能传送的“最高数据率”**，单位是“比特每秒”，或 b/s (bit/s)。



# 常用的带宽单位

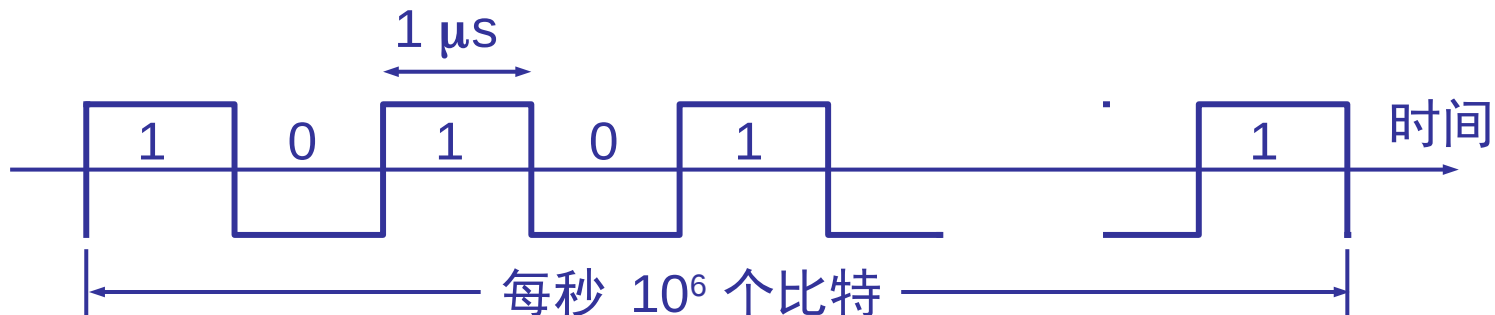
---

- 更常用的带宽单位是
  - 千比每秒，即  $\text{kb/s}$  ( $10^3 \text{ b/s}$ )
  - 兆比每秒，即  $\text{Mb/s}$  ( $10^6 \text{ b/s}$ )
  - 吉比每秒，即  $\text{Gb/s}$  ( $10^9 \text{ b/s}$ )
  - 太比每秒，即  $\text{Tb/s}$  ( $10^{12} \text{ b/s}$ )
- 请注意：在计算机界， $K = 2^{10} = 1024$   
 $M = 2^{20}$ ,  $G = 2^{30}$ ,  $T = 2^{40}$ 。

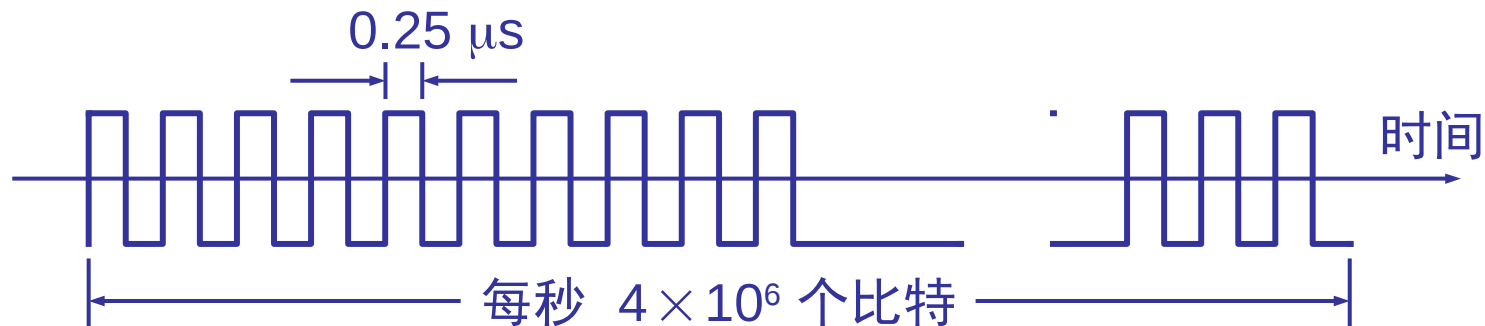
# 数字信号流随时间的变化

- 在时间轴上信号的宽度随带宽的增大而变窄。

带宽为  
1 Mb/s



带宽为  
4 Mb/s





### 3. 吞吐量

---

- **吞吐量** (throughput) 表示在单位时间内通过某个网络（或信道、接口）的数据量。
- 吞吐量更经常地用于对现实世界中的网络的一种测量，以便知道实际上到底有多少数据量能够通过网络。
- 吞吐量受网络的带宽或网络的额定速率的限制。



## 4. 时延 (delay 或 latency)

- **传输时延**（**发送时延**，单位：秒） 发送数据时，数据块从结点进入到传输媒体所需要的时间。
- 也就是从发送数据帧的第一个比特算起，到该帧的最后一个比特发送完毕所需的时间。

$$\text{发送时延} = \frac{\text{数据块长度（比特）}}{\text{发送速率（比特 / 秒）}}$$



# 时延 (delay 或 latency)

---

- **传播时延** 电磁波在信道中需要传播一定的距离而花费的时间。
- **信号传输速率**（即发送速率）和信号在信道上的**传播速率**是完全不同的概念。

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



# 时延 (delay 或 latency)

---

- **处理时延**      交换结点为存储转发而进行一些必要的处理所花费的时间。
- **排队时延**      结点缓存队列中分组**排队**所经历的时延。
- 排队时延的长短往往取决于网络中**当时**的**通信量**。





# 时延 (delay 或 latency)

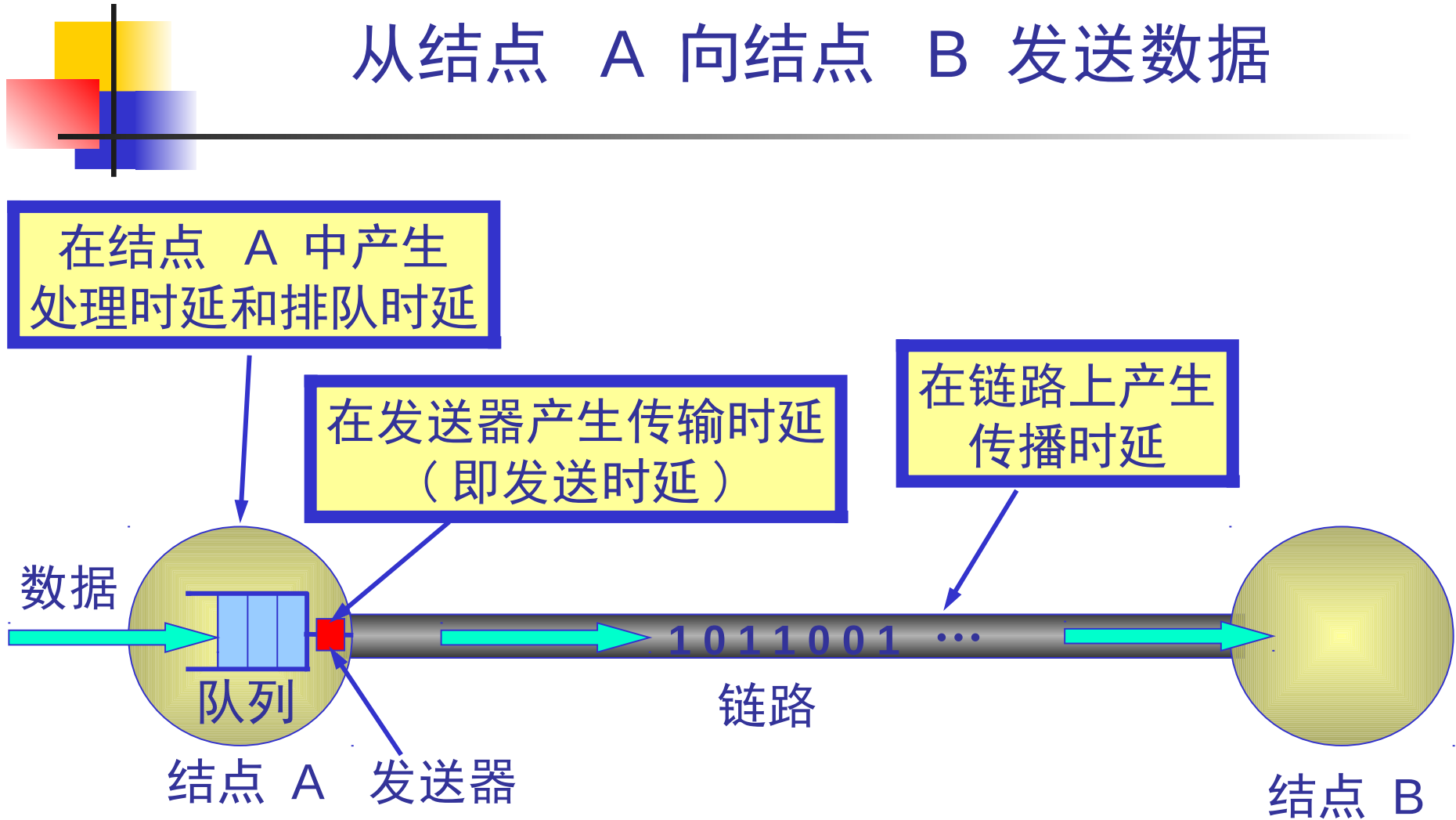
---

- 数据经历的总时延就是发送时延、传播时延、处理时延和排队时延之和：

总时延 = 发送时延 + 传播时延 + 处理时延 + 处理时延

# 四种时延所产生的地方

从结点 A 向结点 B 发送数据





# 容易产生的错误概念

---

- 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**。
- 提高链路带宽减小了数据的发送时延。

## 5. 时延带宽积

时延带宽积

(传播) 时延

带宽

链路

$$\text{时延带宽积} = \text{传播时延 (s)} \times \text{带宽 (b/s)}$$

- 链路的时延带宽积又称为以**比特**为单位的链路长度。



## 6. 利用率

---

- **信道利用率**指出某信道有百分之几的时间是被利用的（有数据通过）。完全空闲的信道的利用率是零。
- **网络利用率**则是全网络的信道利用率的加权平均值。
- 信道利用率并非越高越好。



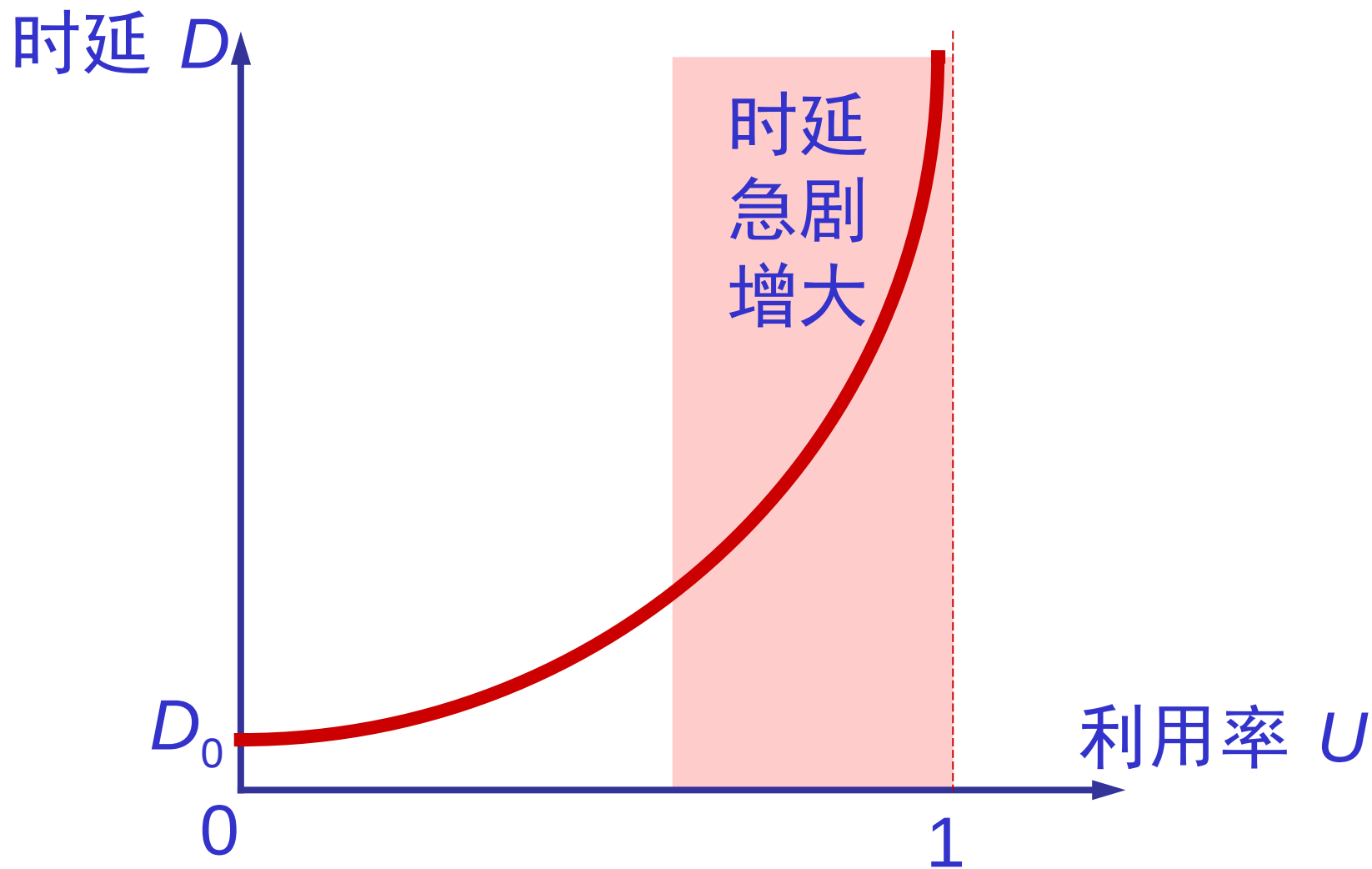
# 时延与网络利用率的关系

---

- 根据排队论的理论，当某信道的利用率增大时，该信道引起的时延也就迅速增加。
- 若令  $D_0$  表示网络空闲时的时延， $D$  表示网络当前的时延，则在适当的假定条件下，可以用下面的简单公式表示  $D$  和  $D_0$  之间的关系：

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

$U$  是网络的利用率，数值在 0 到 1 之间。





## 1.6.2 计算机网络的非性能特征

---

- 费用
- 质量
- 标准化
- 可靠性
- 可扩展性和可升级性
- 易于管理和维护





## 1.7 计算机网络的体系结构

---

### 计算机网络体系结构的形成：

- 相互通信的两个计算机系统必须高度协调工作才行，而这种“协调”是相当复杂的。
- “分层”可将庞大而复杂的问题，转化为若干较小的局部问题，而这些较小的局部问题就比较易于研究和处理。



## 1.7.2 划分层次的必要性

---

- 计算机网络中的数据交换**必须遵守事先约定好的规则**。
- 这些**规则**明确规定了所交换的数据的格式以及有关的同步问题（同步含有时序的意思）。
- **网络协议** (network protocol)，简称为**协议**，是为进行网络中的数据交换而建立的规则、标准或约定。



# 网络协议的组成要素

---

- **语法**          数据与控制信息的结构或格式。
  -
- **语义**          需要发出何种控制信息，完成何种动作以及做出何种响应。
- **同步**          事件实现顺序的详细说明。

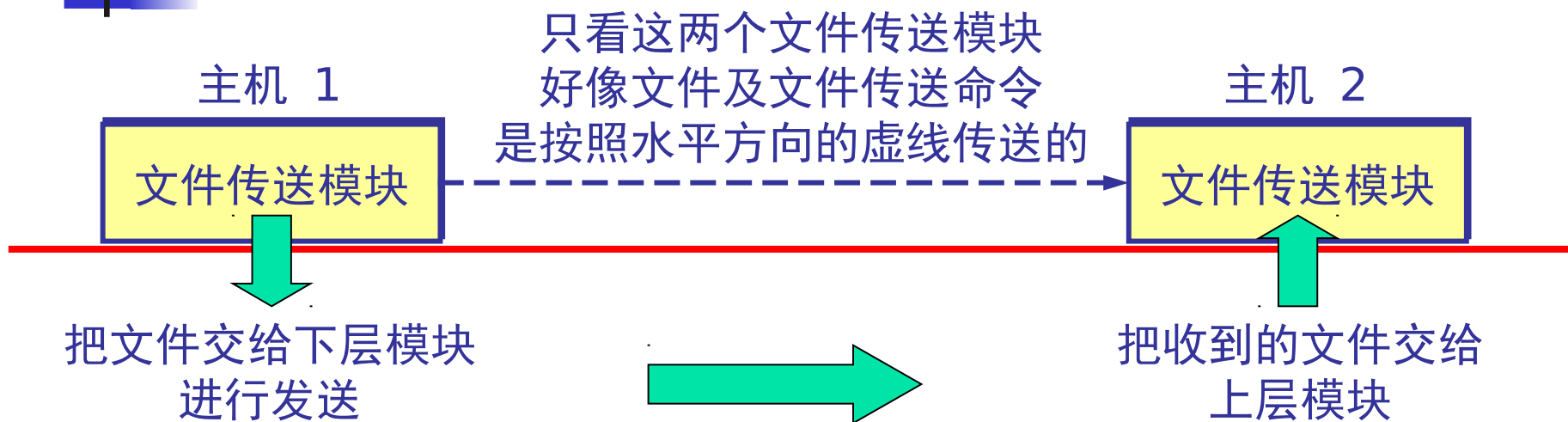


# 划分层次的概念举例

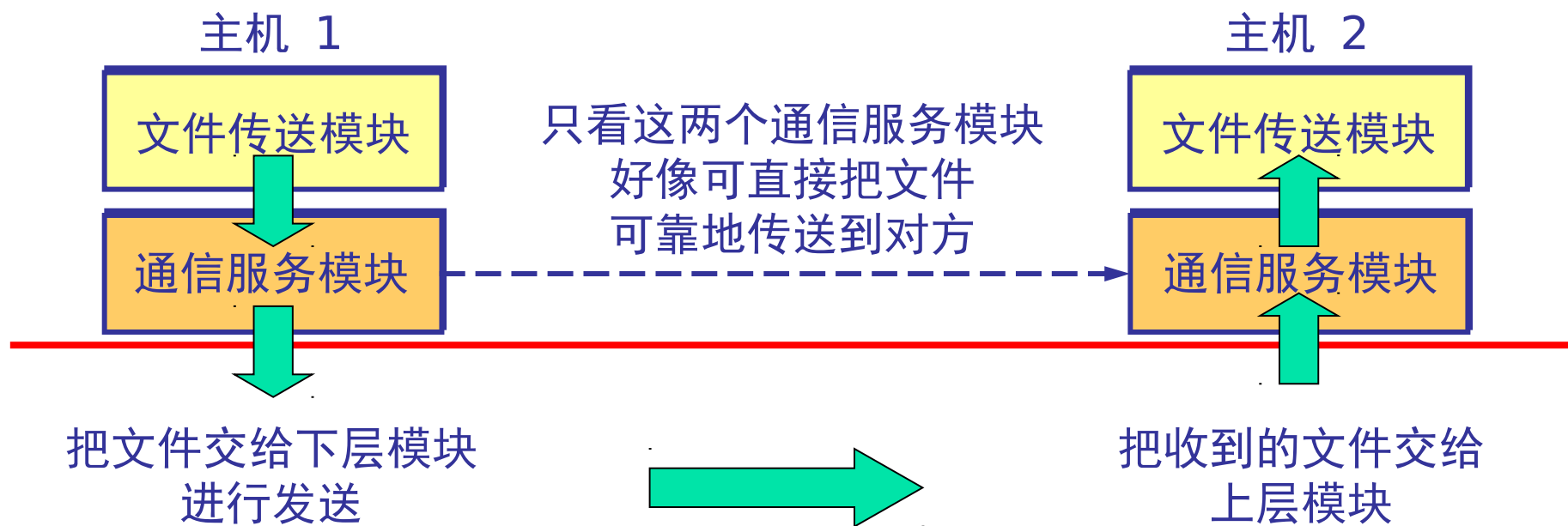
---

- 主机 1 向主机 2 通过网络发送文件。
- 可以将要做的工作进行如下的划分。
- 第一类工作与传送文件直接有关。
  - 确信对方已做好接收和存储文件的准备。
  - 双方协调好一致的文件格式。
- 两个主机将**文件传送模块**作为最高的一层。剩下的工作由下面的模块负责。

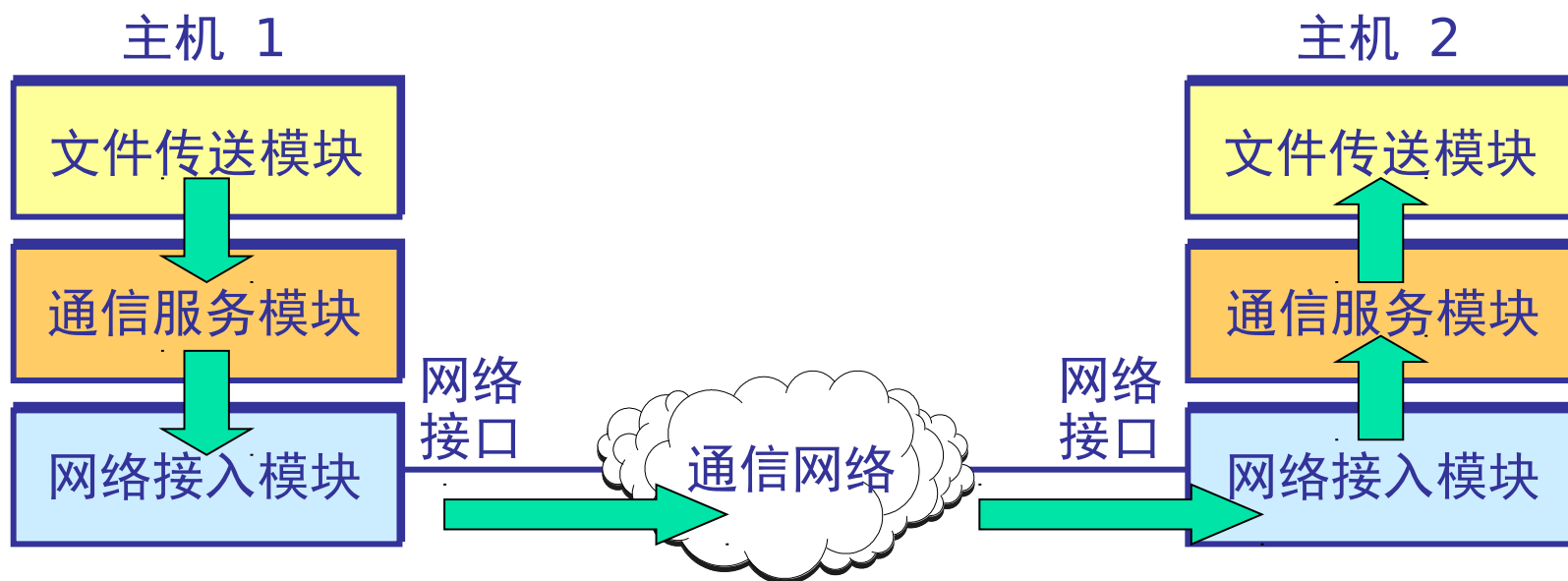
# 两个主机交换文件



# 再设计一个通信服务模块



# 再设计一个网络接入模块



网络接入模块负责做与网络接口细节有关的工作  
例如，规定传输的帧格式，帧的最大长度等。



# 分层的好处

---

- 各层之间是独立的。
- 灵活性好。
- 结构上可分割开。
- 易于实现和维护。
- 能促进标准化工作。





# 层数多少要适当

---

- 若层数太少，就会使每一层的协议太复杂。
- 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。



## 1.7.1 计算机网络的体系结构

---

- 计算机网络的**体系结构** (architecture) 是计算机网络的各层及其协议的集合。
- 体系结构就是这个计算机网络及其部件所应完成的功能的**精确定义**。
- **实现** (implementation) 是遵循这种体系结构的前提下用何种硬件或软件完成这些功能的问题。
- **体系结构是抽象的，而实现则是具体的，是真正在运行的计算机硬件和软件。**



# 网络体系结构的几个基本概念

---

- ◆ **接口**：相邻两层之间的边界，在接口处规定了低层向上层提供的服务，以及服务所使用的形式规范语句（**服务原语**）
- ◆ **服务**：某一层提供的功能，并能通过接口提供给它相邻上层。
- ◆ **网络体系结构**：计算机网络的各层及其协议的集合，是对网络及其组成部分所应完成的功能的精确定义。
- ◆ **协议栈**：网络各层协议按层次顺序排列而成的协议序列。
- ◆ **实体**：（entity）表示任何可发送或接收信息的硬件或软件进程。协议是控制**两个对等实体**进行通信的规则集合。

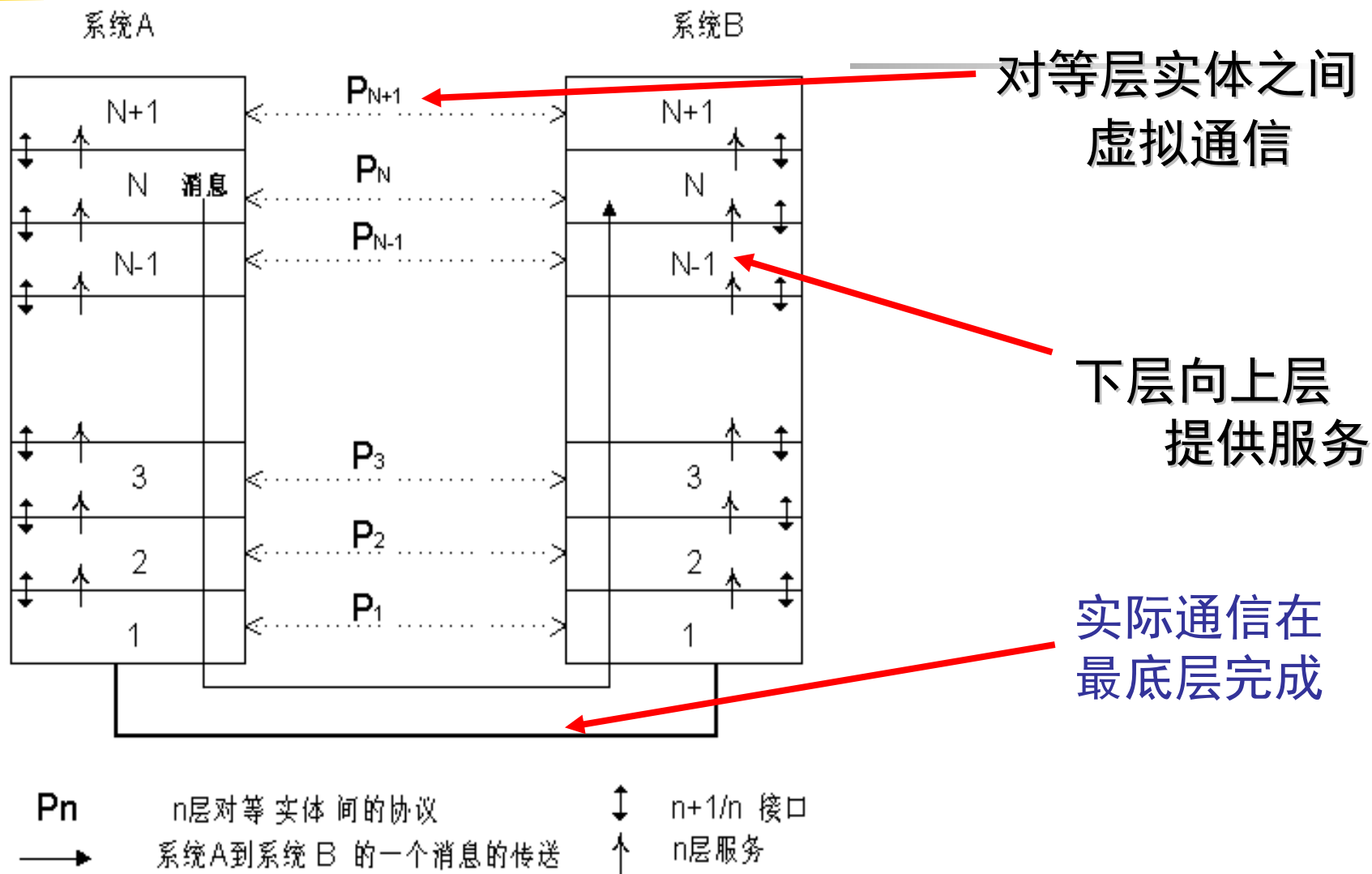


# 实体、协议、服务和访问点

---

- 在协议的控制下，两个对等实体间的通信使得本层能够向上一层提供服务。
- 要实现本层协议，还需要使用下层所提供的服务。
- 本层的服务用户只能看见服务而无法看见下面的协议。
- 协议是“水平的”，即协议是控制对等实体之间通信的规则。
- 服务是“垂直的”，即服务是由下层向上层通过层间接口提供的。
- 同一系统相邻两层的实体进行交互的地方，称为服务访问点 SAP (Service Access Point)。

# 网络分层结构的实质





# 1. 关于开放系统互连参考模型 OSI

---

- 1974 年，IBM 公布了 SNA（System Network Architecture）
- DEC 公布了 DNA (Distributed Network Architecture)
- 1984 年，ISO（国际标准化组织，International Standard Organization）公布了 OSI / RM（开放系统互连参考模型，Open Systems Interconnection Reference Model）即 ISO 7498。
- 划分：
  - 1—3 层为网络支持层，负责数据从一台设备传输到另一台设备。
  - 5—7 层为用户支持层，允许不同软件之间互操作性。

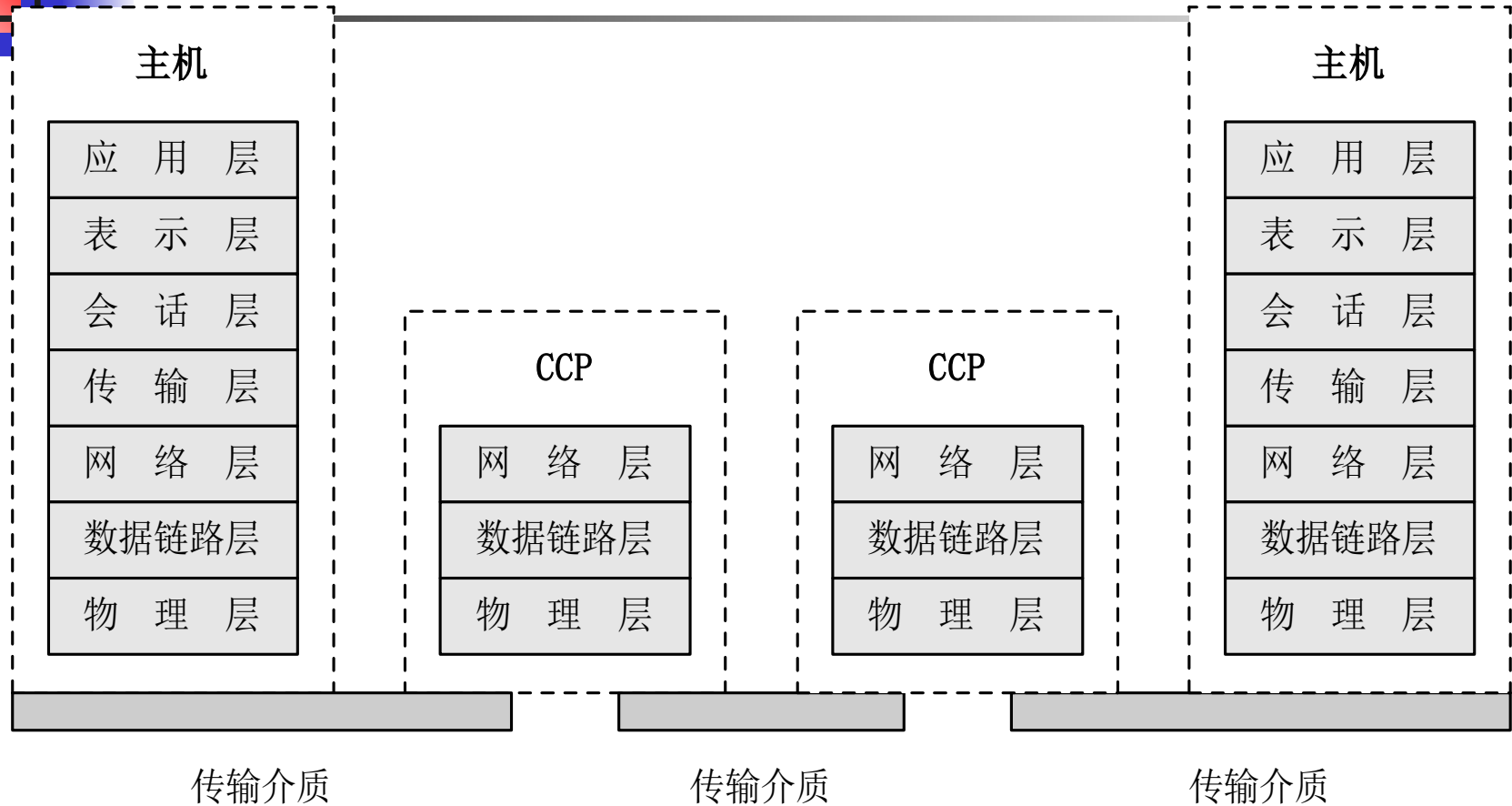


# 关于开放系统互连参考模型 OSI/RM

---

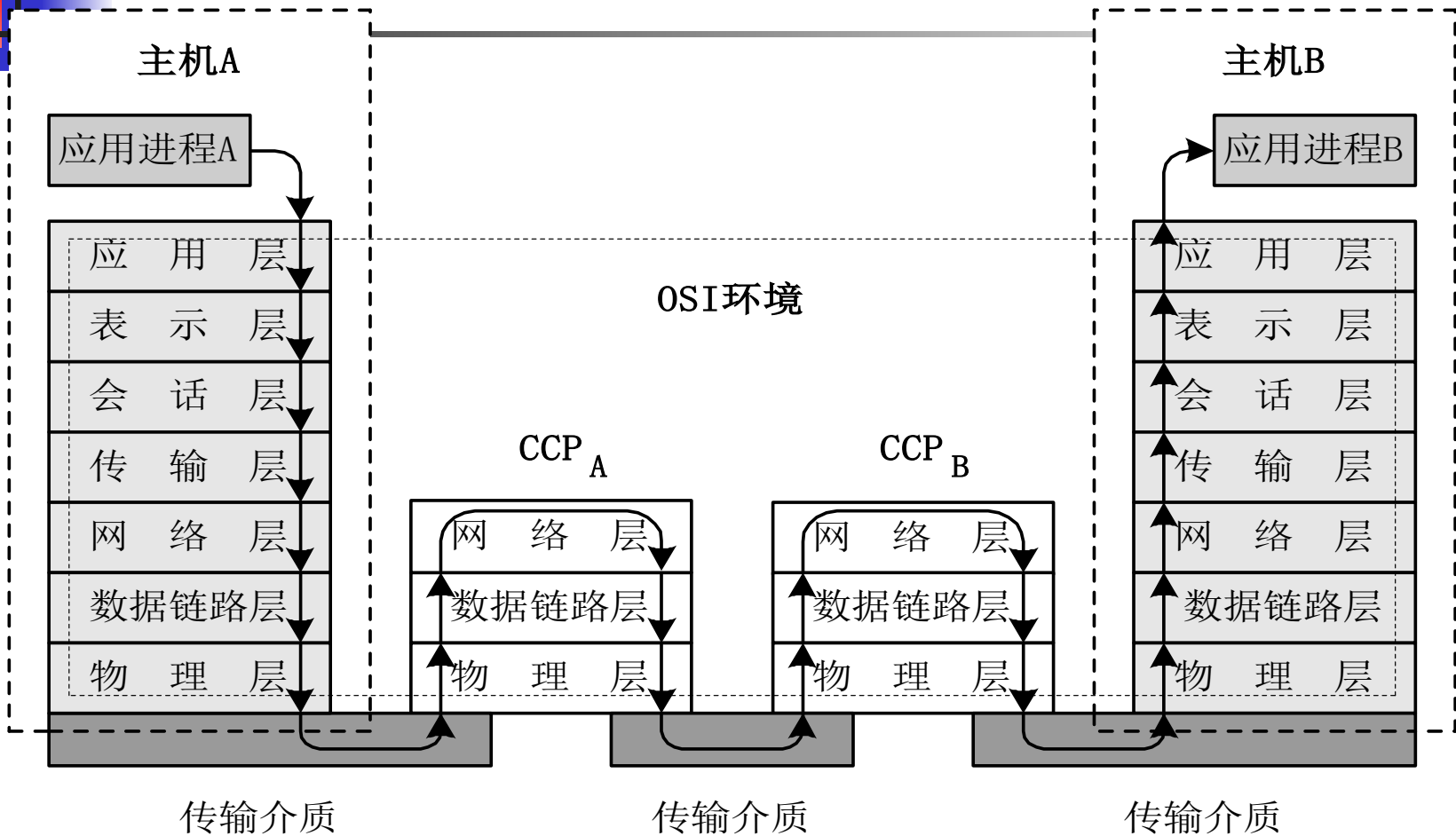
- 只要遵循 OSI 标准，一个系统就可以和位于世界上任何地方的、也遵循这同一标准的其他任何系统进行通信。
- 在市场化方面 OSI 却失败了。
  - OSI 的专家们在完成 OSI 标准时没有商业驱动力；
  - OSI 的协议实现起来过分复杂，且运行效率很低；
  - OSI 标准的制定周期太长，因而使得按 OSI 标准生产的设备无法及时进入市场；
  - OSI 的层次划分并也不太合理，有些功能在多个层次中重复出现。

# OSI 参考模型的结构

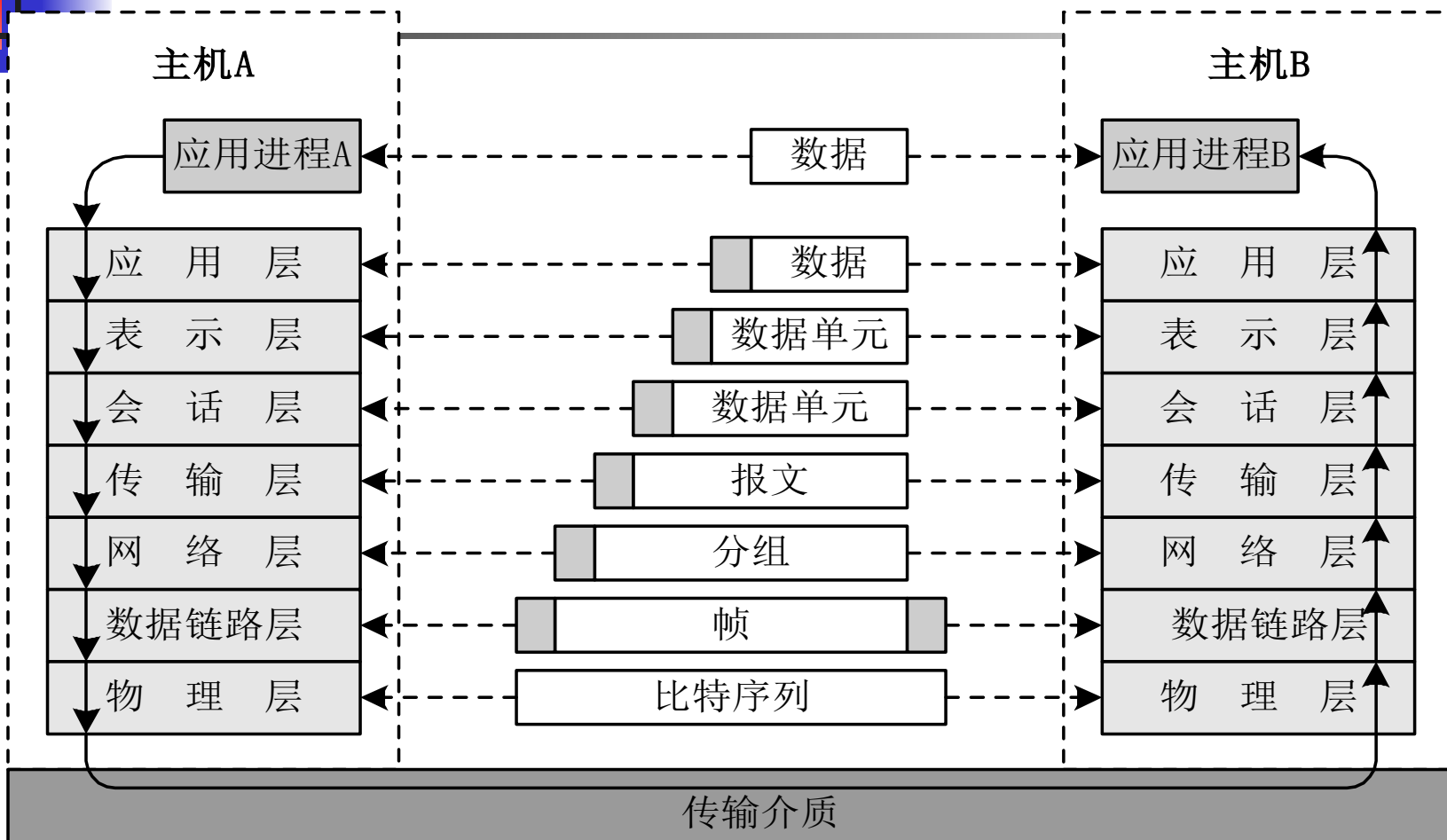




# OSI 环境中的数据传输过程



# OSI 环境中的数据传输过程



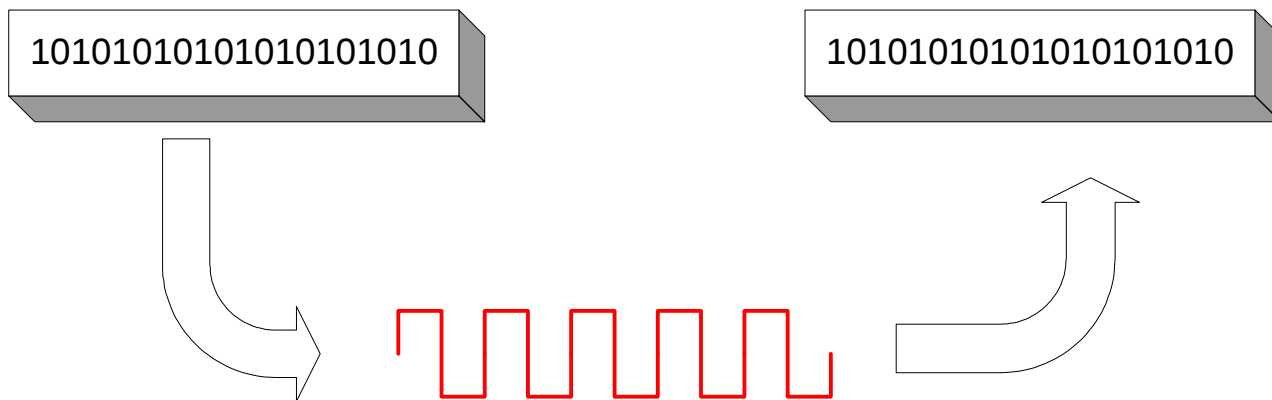


# ISO/OSI

---

## （1）物理层

- **功能：**在物理媒体上传输原始的数据比特流。
- **内容：**同具体的物理媒体有关，定义了设备间的物理接口及比特传输规则。





# ISO/OSI

---

## ■ 物理层解决的问题：

- 用多少伏特电压表示 0 或 1
- 一个比特持续多长时间
- 传输是单向还是双向

## ■ 物理层设备

- 物理层主要通过网卡中的有关硬件寄存器及向具体的物理线路收发位串的各种控制机构。及物理层协议（如 EIA-RS-232C）

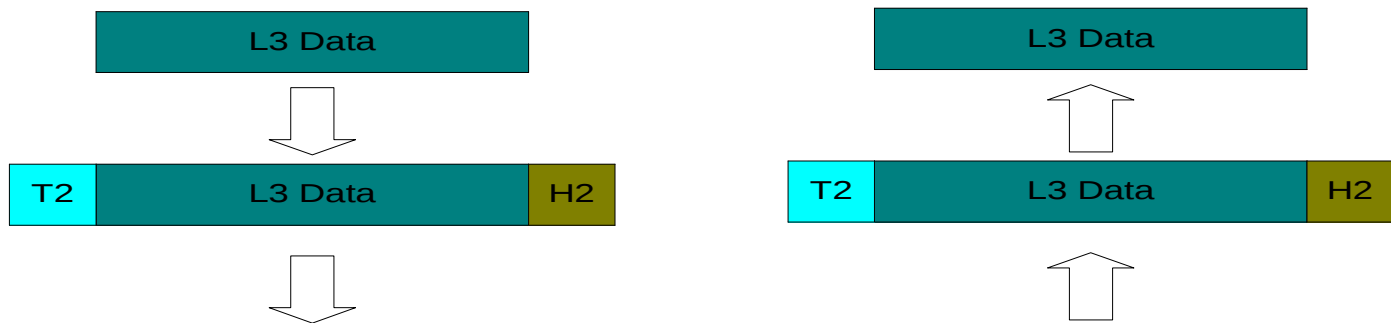
## ■ 具体表现

- 线路结构：点对点、多点
- 传输方式：单工、半双工、全双工
- 拓扑结构：网状、星型、树型、总线、环型
- 物理介质：电缆、光纤、无线介质

# ISO/OSI

## (2) 数据链路层

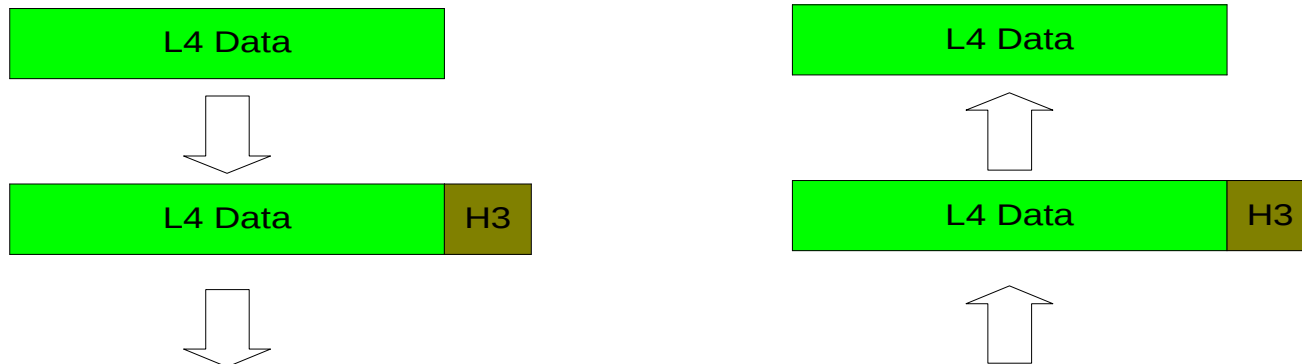
- 功能：在相邻节点间无差错地传输一帧数据
- 内容：
  - 寻址和封装 — 加入头尾信息（如头部的源和目标的物理地址）
  - 同步 — 通知接收者开始接收帧数据
  - 差错控制 — 加入数据校验码
  - 流量控制 — 协调收、发双方数据传输速率，以免收方缓冲溢出



# ISO/OSI

## (3) 网络层

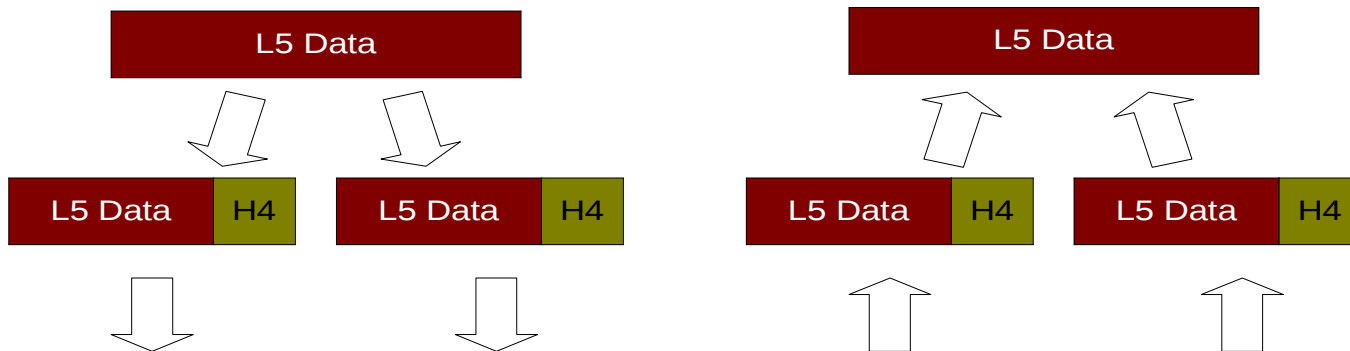
- 功能：将分组穿过通信子网从信源传输到信宿
- 内容：
  - 路由选择：如何在多条路径中选择，穿过子网
  - 拥塞控制：控制分组流入子网的流量，以免子网过载，性能下降
  - 数据分片和组装：将长的分组分片，以使能在短分组网络上传输
  - 网络互联：多个子网之间进行互连



# ISO/OSI

## (4) 传输层

- 功能：提供端到端的数据传输服务
- 内容
  - 连接管理：建立连接、发收数据、拆除连接
  - 报文分割和装配：将上层的长数据报文分割成小的段进行传输
  - 端到端的差错控制与流量控制
  - 分流和多路复用





# ISO/OSI

---

- 分流：运输层可以建立多条网络连接来支持一条运输连接。

分流可提高网络的吞吐量

- 复用：可以让多条运输通信合用一条网络连接

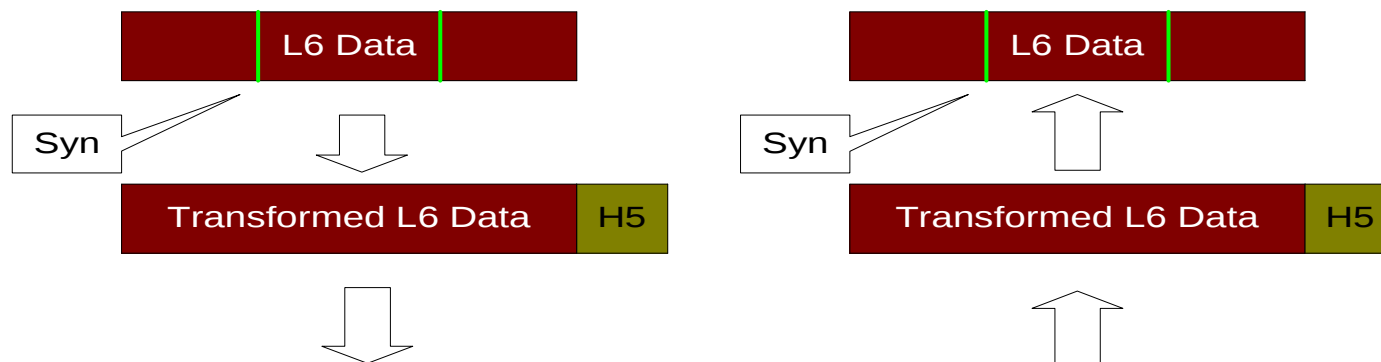
复用可节省费用



# ISO/OSI

## （5）会话层

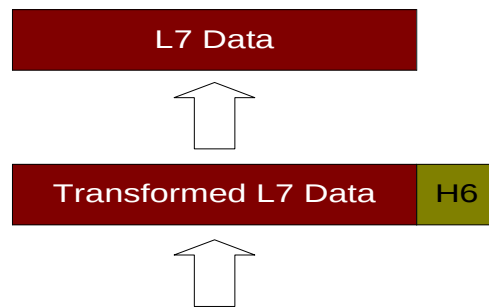
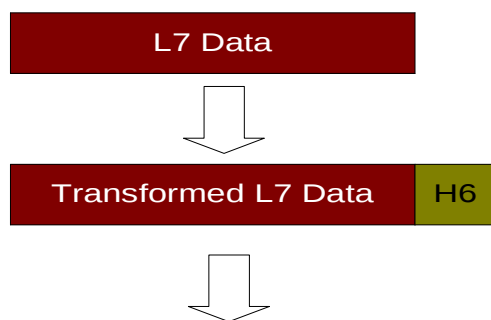
- **功能：**在两个互相通信的进程之间建立、组织和同步会话、会话活动管理、对话控制。
- **内容：**
  - 会话管理——负责建立、清除对话连接，进行对话管理，用数据令牌跟踪控制哪一方有权发送数据
  - 同步——在数据流中插入同步点，网络故障时从最近的同步点恢复
  - 活动管理——一次会话分成多个活动，对各个活动进行管理



# ISO/OSI

## (6) 表示层

- **功能：** 提供数据或信息语法的表示变换，以确保不同表示方法的计算机能互相通信。
- **内容：**
  - 各机器内部的数据表示与网络传输的抽象数据表示之间的变换
  - 数据的压缩 / 解压缩
  - 数据的加密 / 解密





# ISO/OSI

---

## ■ (7) 应用层

- 功能：是直接面向用户的一层。它为应用进程提供访问 **OSI** 环境的手段，同时为应用进程提供服务。

对于一些普遍需要的网络应用（如文件传输、电子邮件、域名服务等）制定了一系列标准。

- 举例：
  - (1) **VT (Network Virtual Terminal)**：网络虚拟终端。
  - (2) **FTP**：文件传输协议（**TCP/IP**）。
  - (3) **FTAM**：网络环境下，不同主机间的文件传输、访问和管理。**(OSI)**
  - (4) **Mail Service**：e-mail 存储和转发。



## 2.TCP/IP 模型及协议

---

- 法律上的国际标准 OSI 并没有得到市场的认可。
- 是非国际标准 TCP/IP 现在获得了最广泛的应用。
  - TCP/IP 常被称为事实上的国际标准。



# TCP/IP 参考模型

---

- ◆ 在 TCP/IP 协议研究时，并没有提出参考模型；
- ◆ 1974 年 Kahn 定义了最早的 TCP/IP 参考模型；
- ◆ 20 世纪 80 年代 Leiner、Clark 等人对 TCP/IP 参考模型进一步的研究；
- ◆ TCP/IP 协议一共出现了 6 个版本，后 3 个版本是版本 4、版本 5 与版本 6；
- ◆ 目前我们使用的是版本 4，它的网络层 IP 协议一般记作 IPv4
- ◆ 版本 6 的网络层 IP 协议一般记作 IPv6（或 IPng, IP next generation）；



# TCP/IP 协议的特点

---

- ◆ 开放的协议标准；
- ◆ 独立于特定的计算机硬件与操作系统，可以运行在局域网、广域网，更适用于互连网中；
- ◆ 统一的网络地址分配方案，使得整个 TCP/IP 设备在网中都具有惟一的地址；
- ◆ 标准化的高层协议，可以提供多种可靠的用户服务。



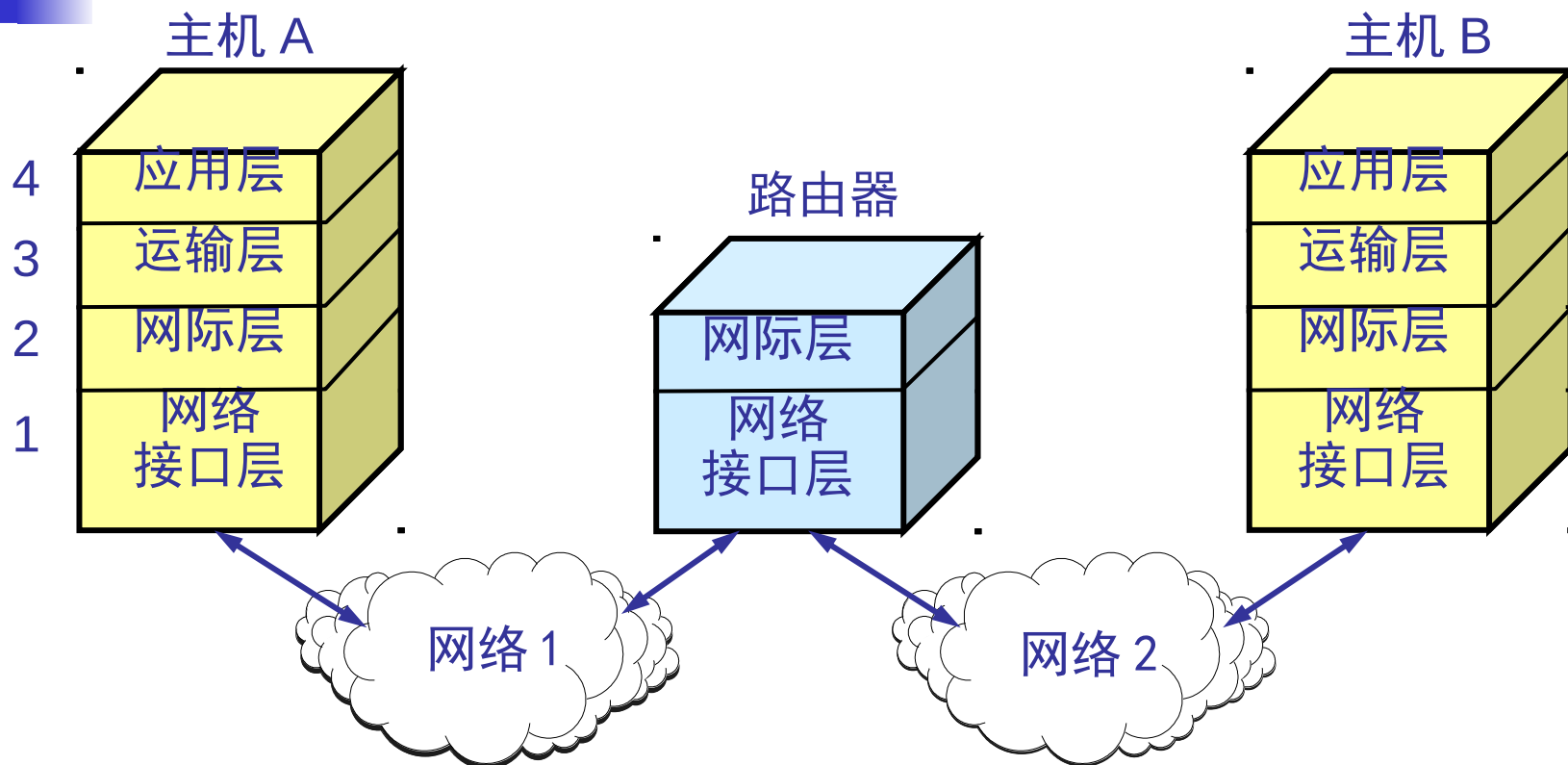
# TCP/IP 与 OSI 的对应关系

OSI参考模型

TCP/IP参考模型

应 用 层		应 用 层
表 示 层		
会 话 层		
传 输 层		传 输 层
网 络 层		互 联 层
数据链路层		主机—网络层
物 理 层		

# TCP/IP 的体系结构



路由器在转发分组时最高只用到网络层  
而没有使用运输层和应用层。





# TCP/IP 模型及协议

---

**应用层**：为用户提供访问 Internet 的一组高层协议（如 FTP、TELNET、SMTP 等）

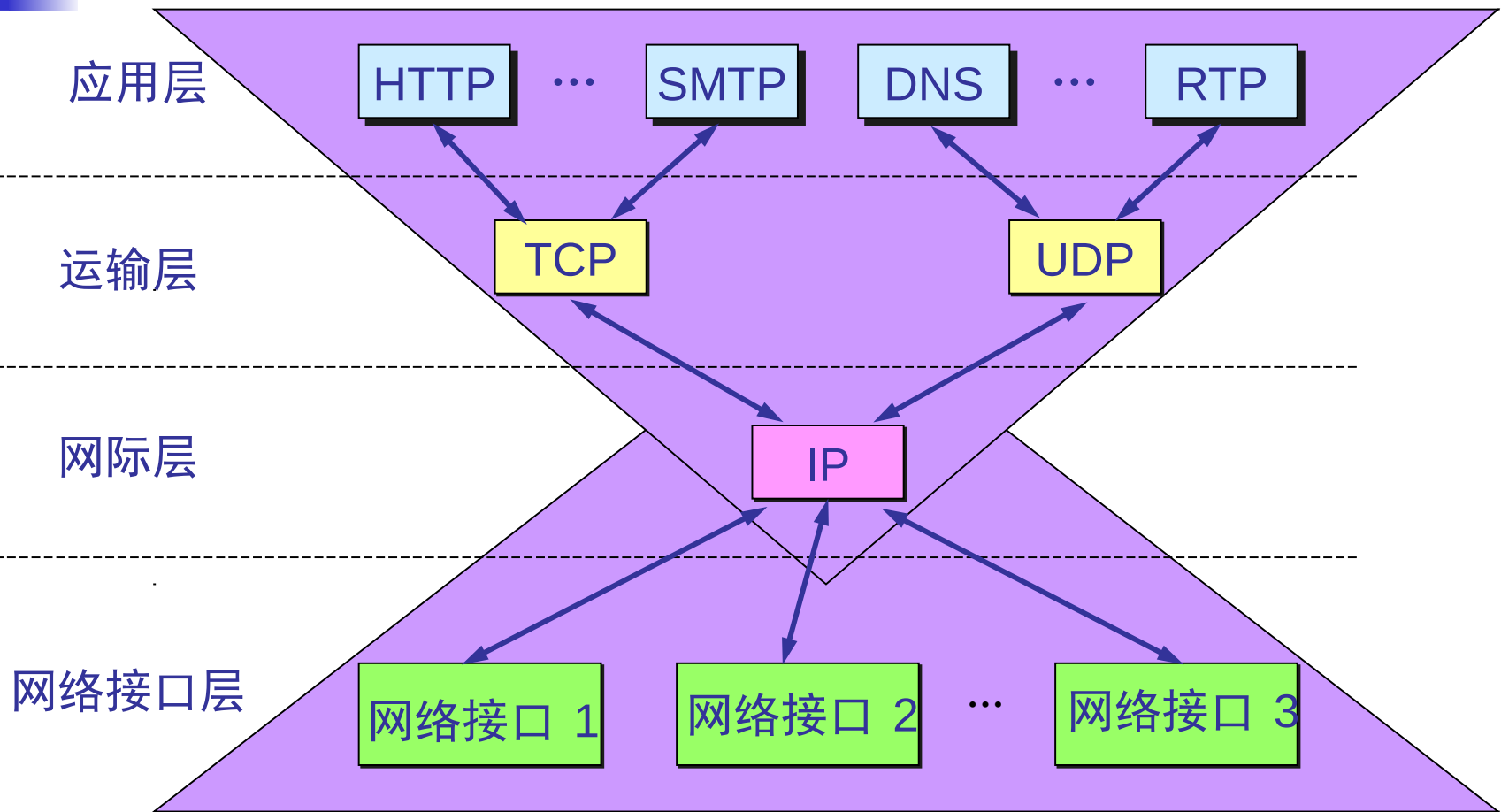
**传输层**：为源和目的主机的应用程序间提供端 - 端的数据传输服务（如 TCP、UDP）

**网络互联层（网际层）**：把分组独立地从信源传送到信宿。解决路由选择、拥塞控制和网络互联等问题（如 IP）

**网络接口层**：负责将 IP 分组封装成适合在物理网络上传输的帧格式并传输，或将物理网络接收到的帧解封，取出 IP 分组交给网络互联层（如 Ethernet、PPP）

# IP over Everything

## IP 可应用到各式各样的网络上





## 1.7.3 具有五层协议的体系结构

---

- TCP/IP 是四层的体系结构：应用层、运输层、网际层和网络接口层。
- 但最下面的网络接口层并没有具体内容。
- 因此往往采取折中的办法，即综合 OSI 和 TCP/IP 的优点，采用一种只有五层协议的体系结构。



# 五层协议的体系结构

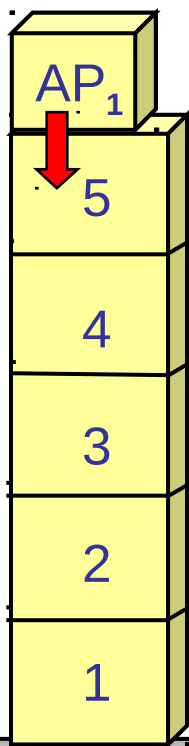
---



- 应用层 (application layer)
- 运输层 (transport layer)
- 网络层 (network layer)
- 数据链路层 (data link layer)
- 物理层 (physical layer)

# 主机 1 向主机 2 发送数据

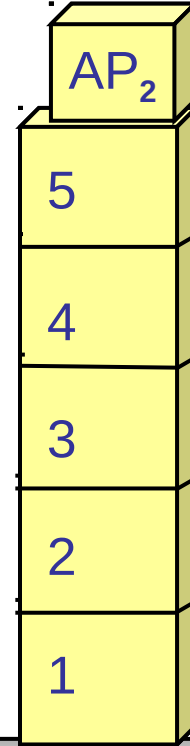
主机 1



应用进程数据先传送到应用层

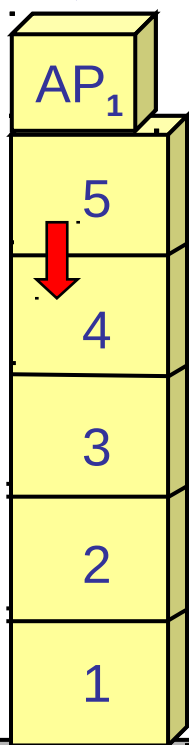
加上应用层首部，成为应用层 PDU

主机 2



# 主机 1 向主机 2 发送数据

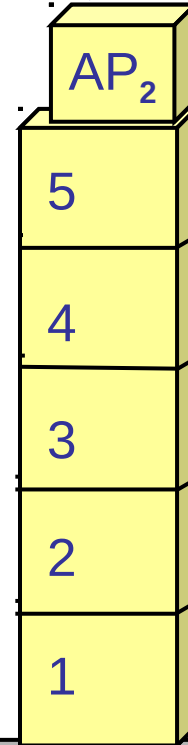
主机 1



应用层 PDU 再传送到运输层

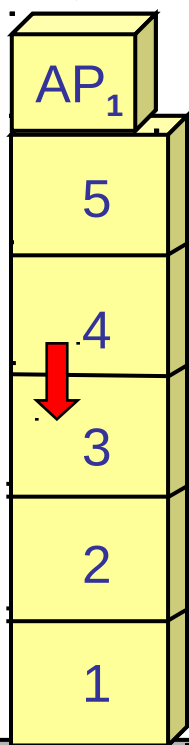
加上运输层首部，成为运输层报文

主机 2



# 主机 1 向主机 2 发送数据

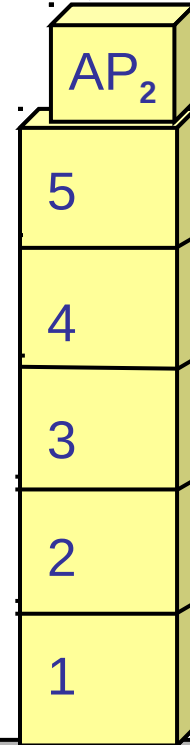
主机 1



运输层报文再传送到网络层

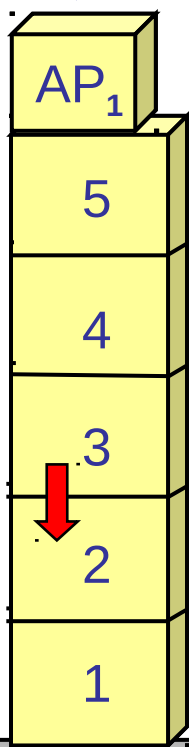
加上网络层首部，成为 IP 数据报（或分组）

主机 2



# 主机 1 向主机 2 发送数据

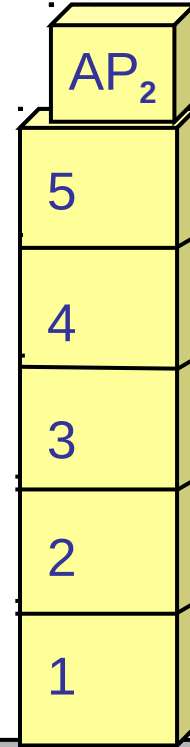
主机 1



IP 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

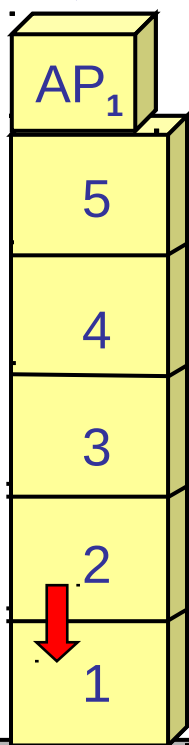
主机 2





# 主机 1 向主机 2 发送数据

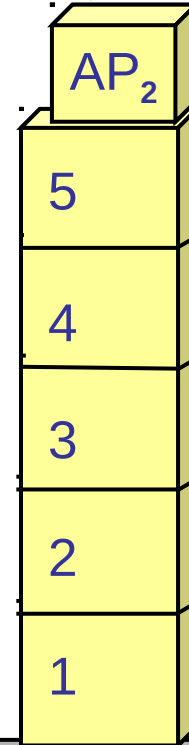
主机 1



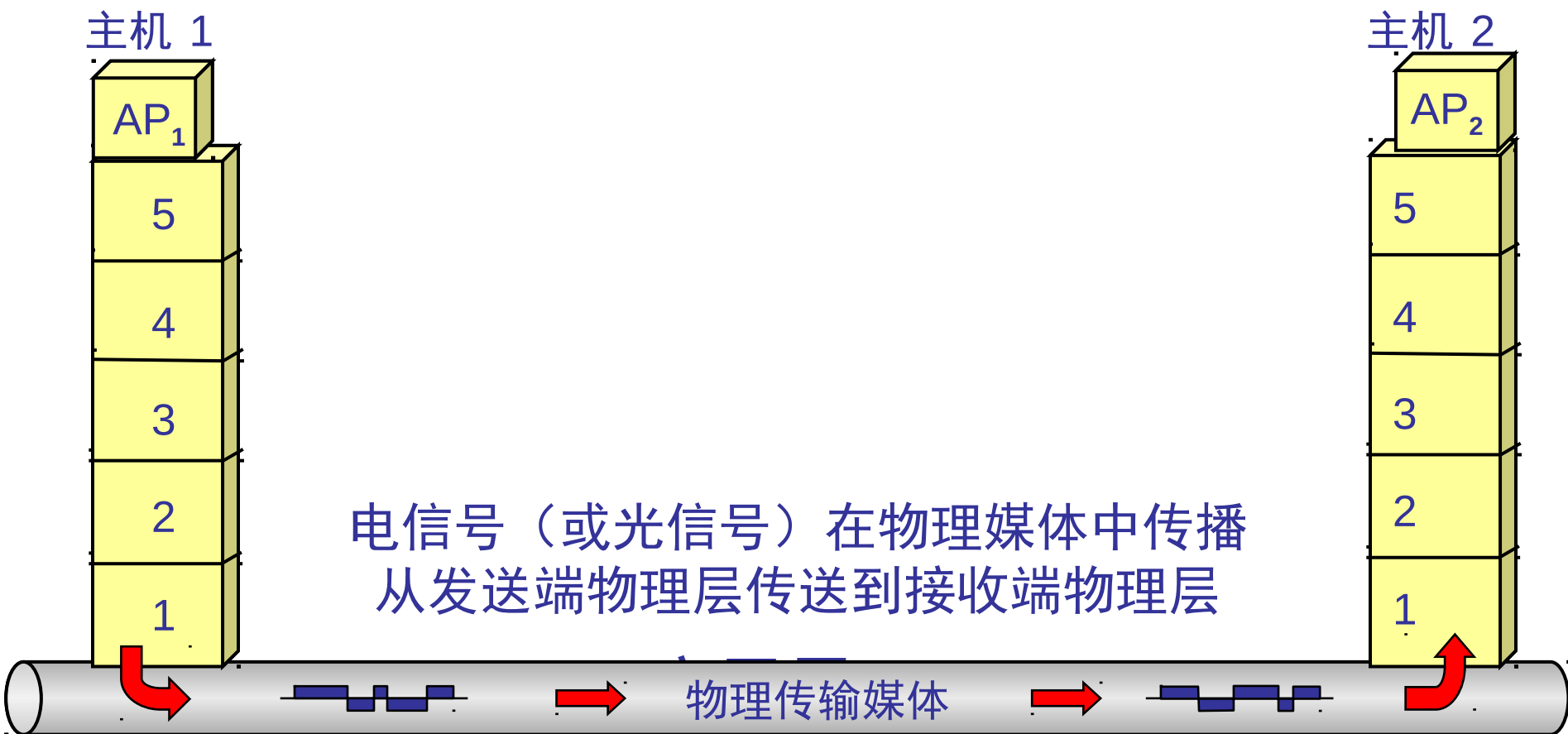
数据链路层帧再传送到物理层

最下面的物理层把比特流传送到物理媒体

主机 2

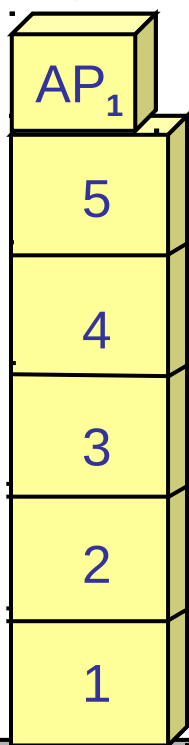


# 主机 1 向主机 2 发送数据

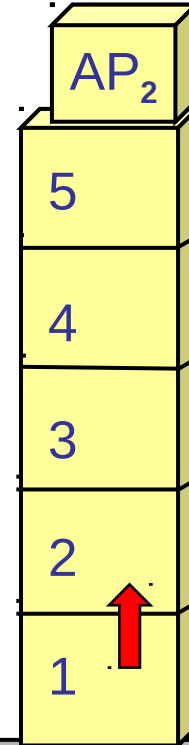


# 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



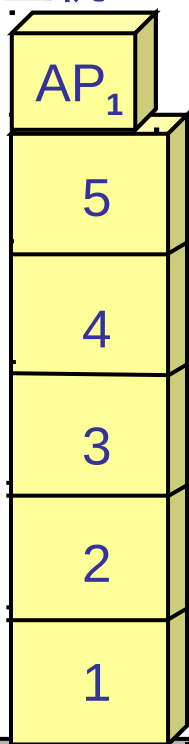
主机 2



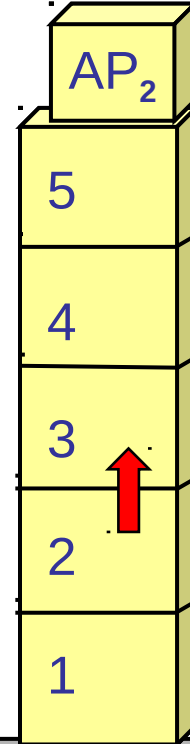
物理层接收到比特流，上交给数据链路层

# 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



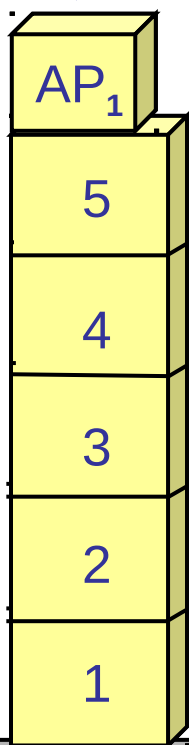
主机 2



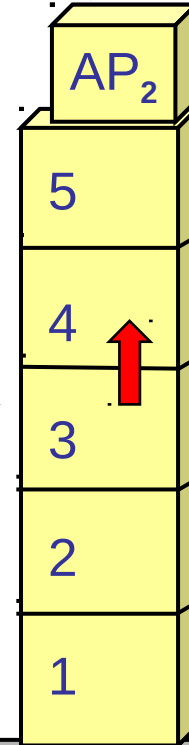
数据链路层剥去帧首部和帧尾部  
取出数据部分，上交给网络层

# 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



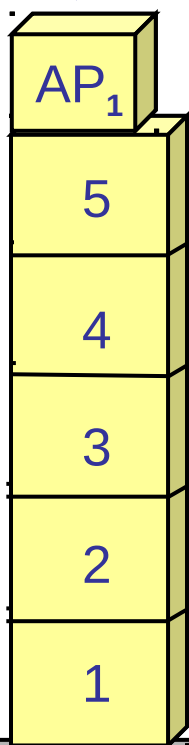
主机 2



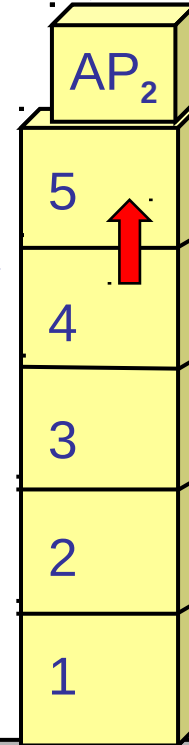
网络层剥去首部，取出数据部分  
上交给运输层

# 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



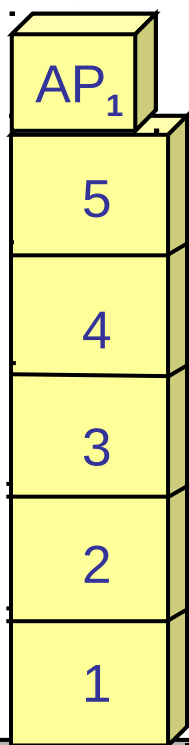
主机 2



运输层剥去首部，取出数据部分  
上交给应用层

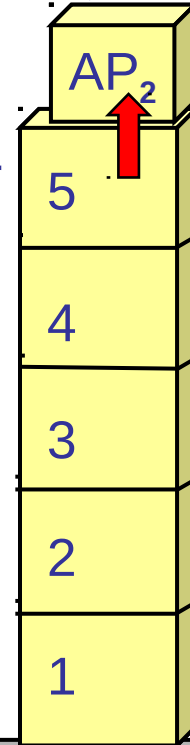
# 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1

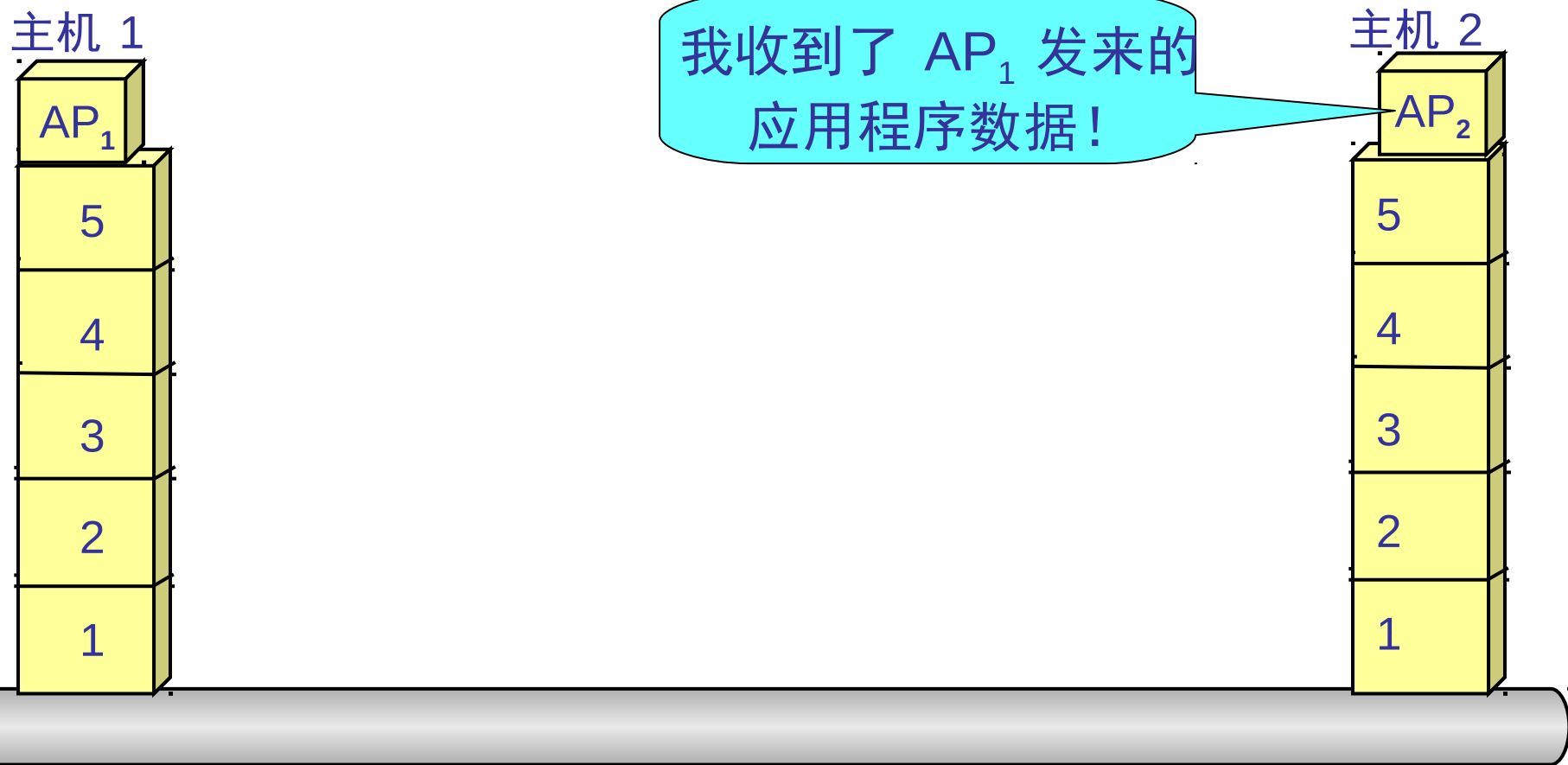


应用层剥去首部，取出应用程序数据  
上交给应用进程

主机 2



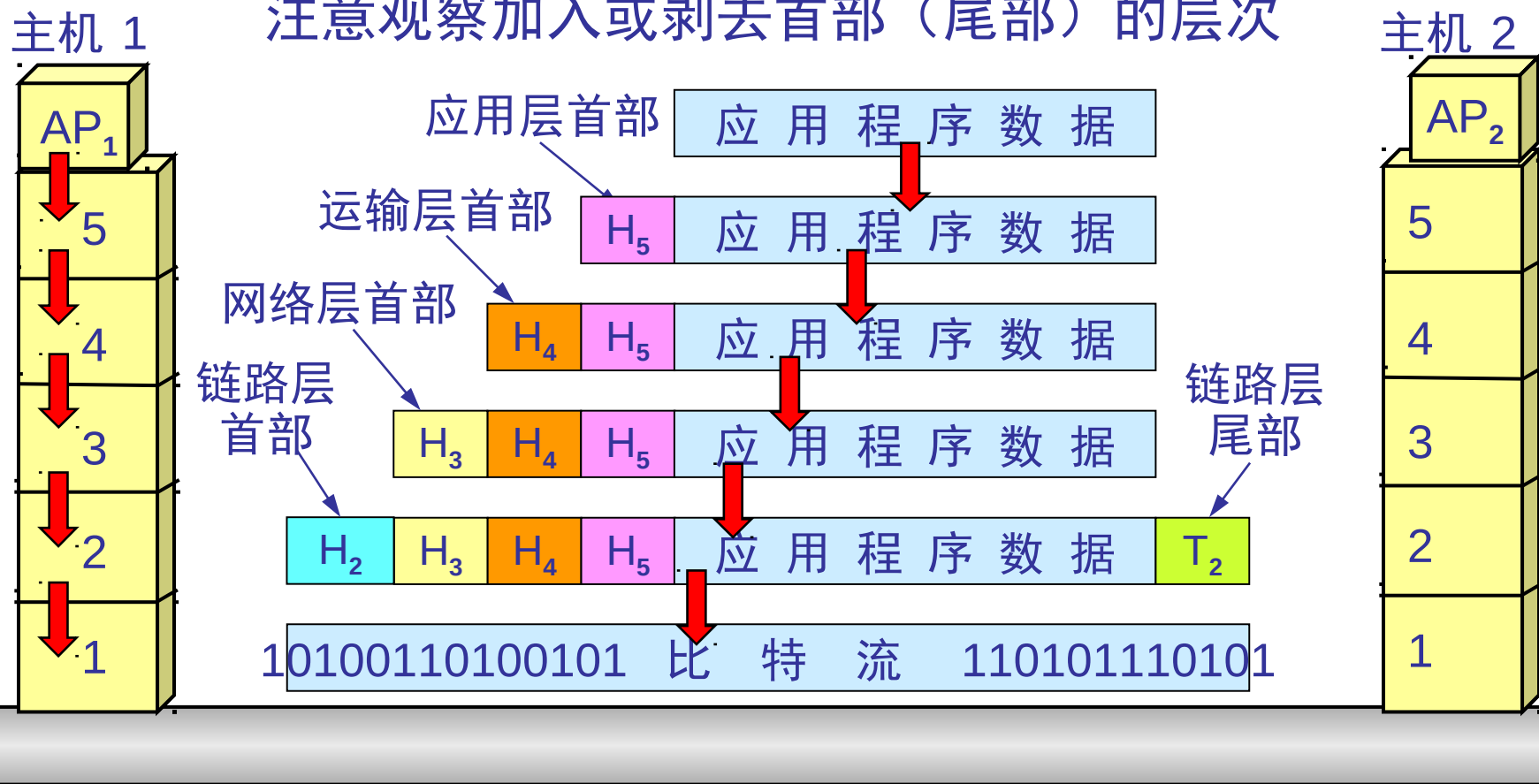
# 主机 1 向主机 2 发送数据



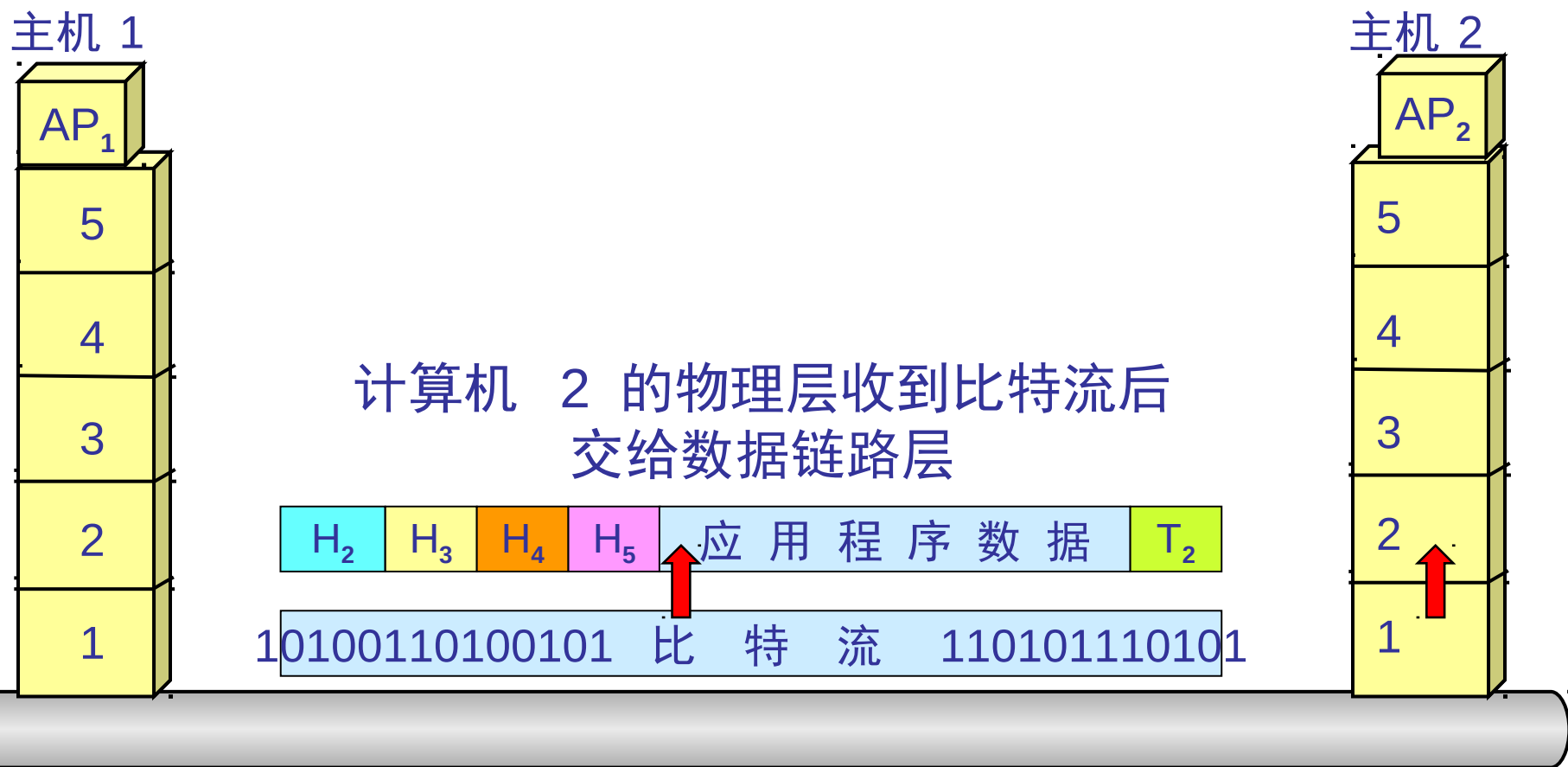


# 主机 1 向主机 2 发送数据

注意观察加入或剥去首部（尾部）的层次

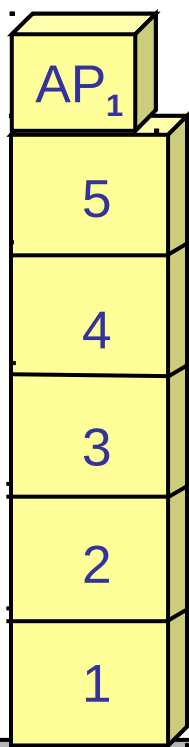


# 主机 1 向主机 2 发送数据

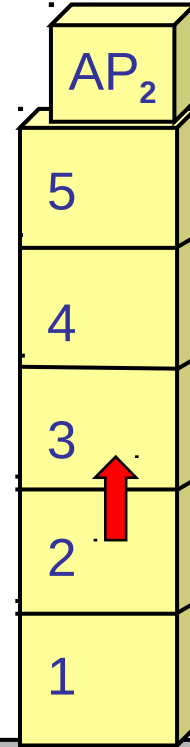


# 主机 1 向主机 2 发送数据

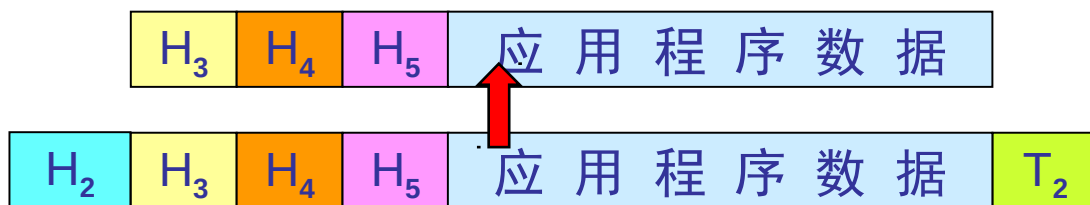
主机 1



主机 2

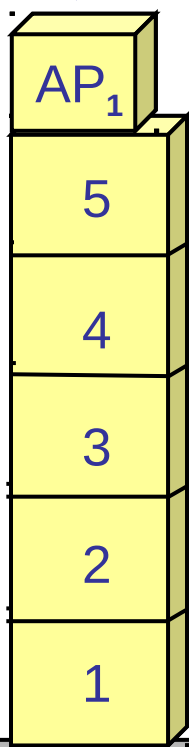


数据链路层剥去帧首部和帧尾部后  
把帧的数据部分交给网络层

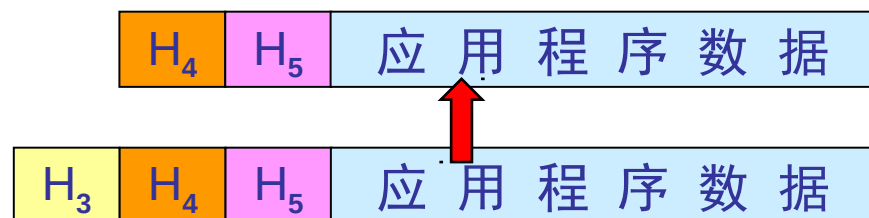


# 主机 1 向主机 2 发送数据

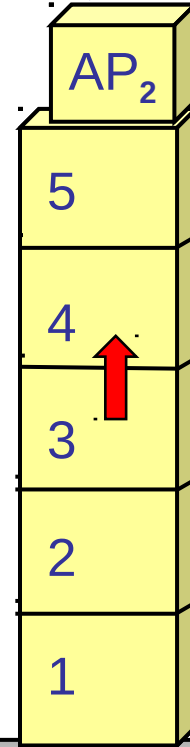
主机 1



网络层剥去分组首部后  
把分组的数据部分交给运输层

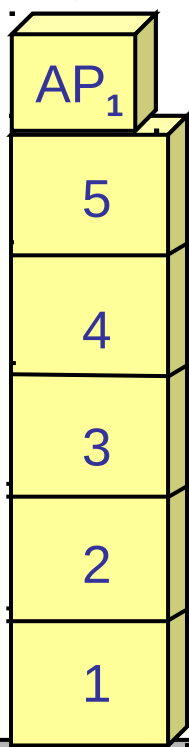


主机 2

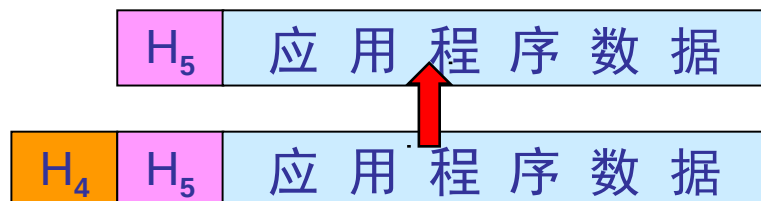


# 主机 1 向主机 2 发送数据

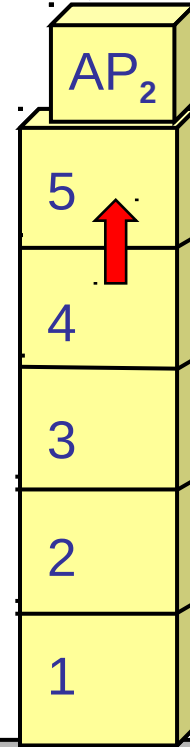
主机 1



运输层剥去报文首部后  
把报文的数据部分交给应用层

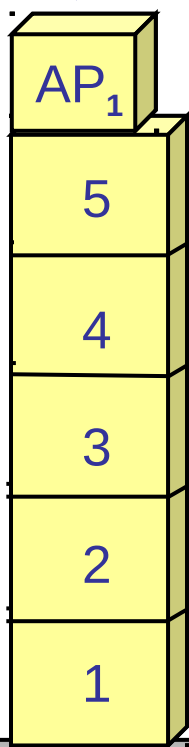


主机 2

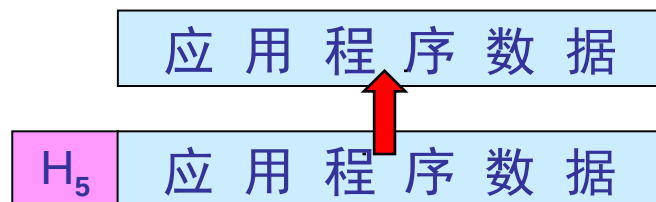
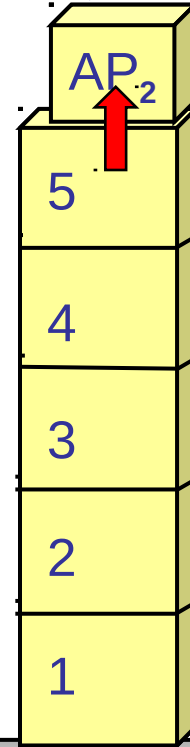


# 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



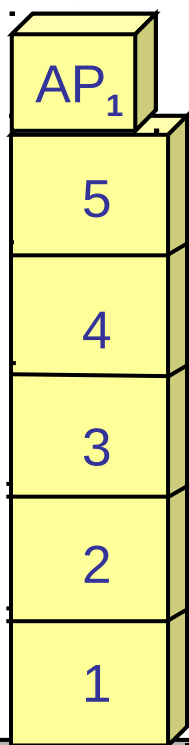
主机 2



应用层剥去应用层 PDU 首部后  
把应用程序数据交给应用进程

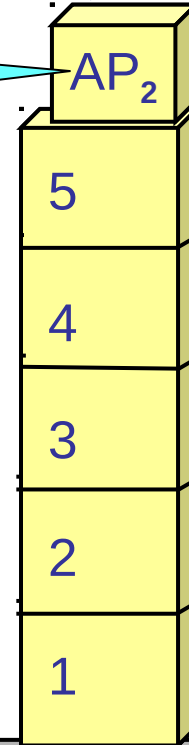
# 主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1

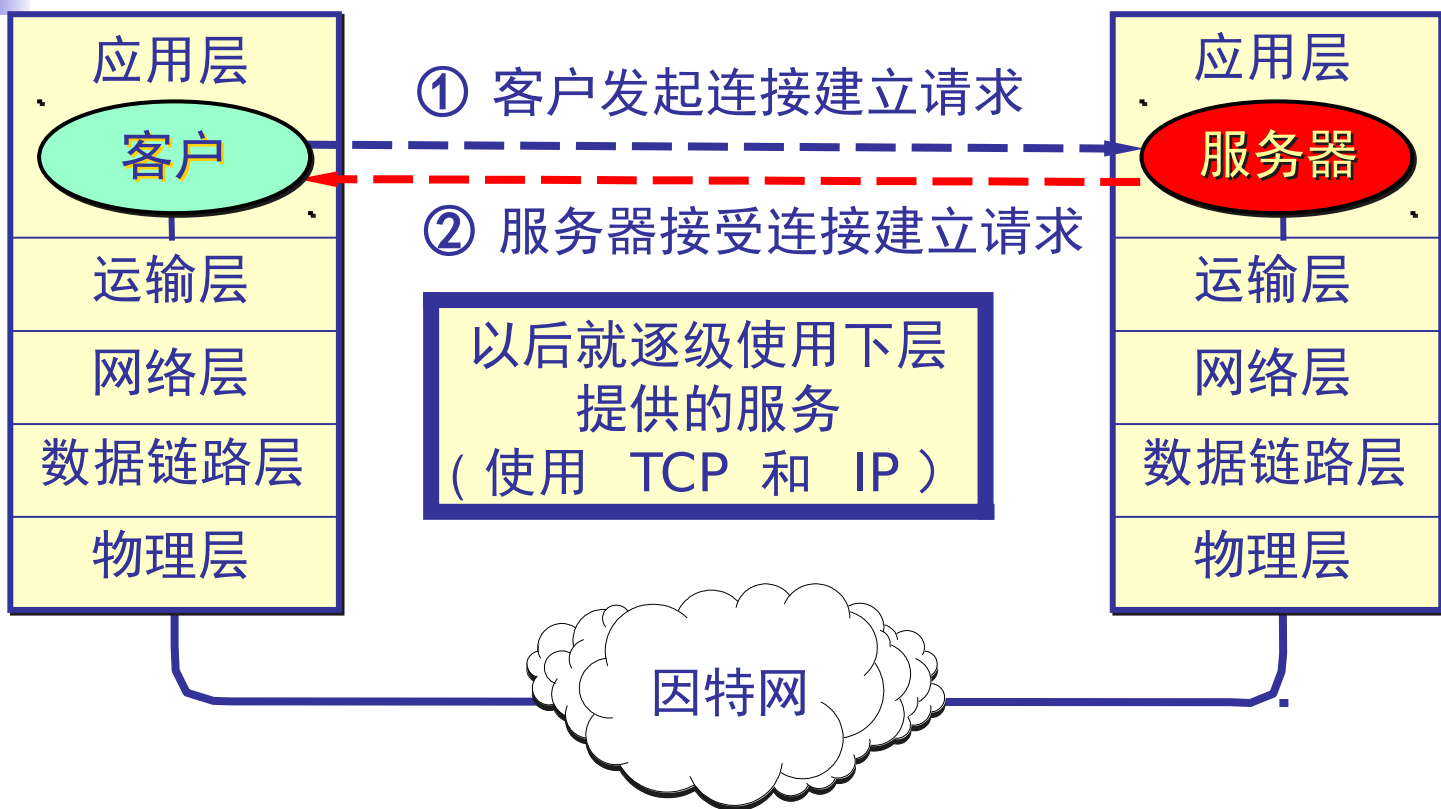


我收到了  $AP_1$  发来的  
应用程序数据！

主机 2



# 【例 1-2】客户进程和服务端进程 使用 TCP/IP 协议进行通信





# 功能较强的计算机 可同时运行多个服务器进程

