



广东开放大学  
The Open University of Guangdong

# 第一章 计算机网络概述

谢剑刚  
广东开放大学



## 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，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。
- 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。
- 因特网是人类自印刷术发明以来在通信方面的最大变革，已成为全球性的信息服务基础设施的雏形。



# 计算机网络向用户提供丰富的应用与服务

01

OPTION

浏览信息和发布信息的平台。

05

OPTION

电子商务的平台。

02

OPTION

通信和交流的平台。

06

OPTION

远程协作的平台。

03

OPTION

休闲和娱乐的平台。

07

OPTION

网上办公的平台。

04

OPTION

资源共享的平台。



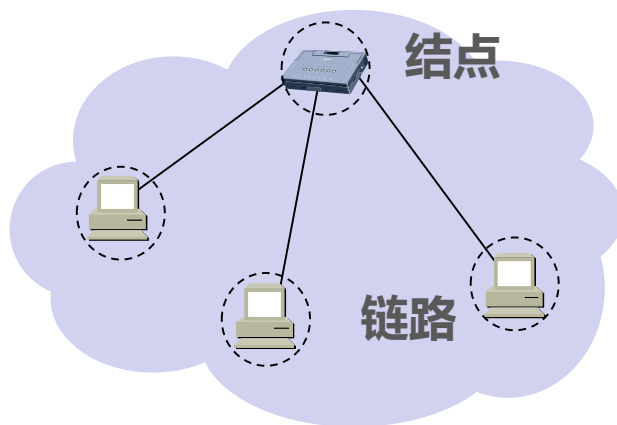
## 1.2.1 网络的网络

- 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)。

# 网络与因特网

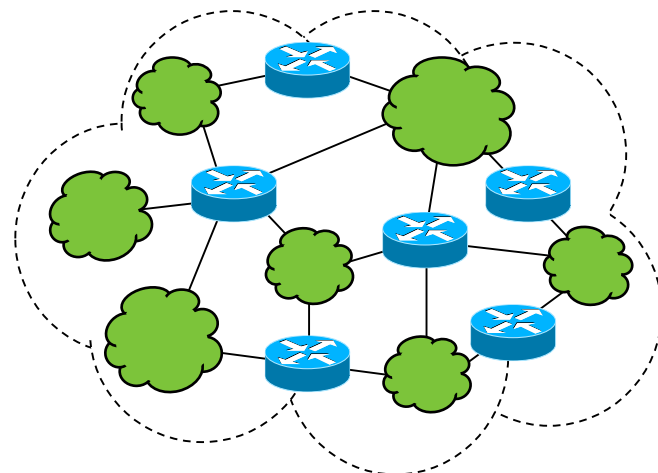
- 网络把许多计算机连接在一起。
- 因特网则把许多网络连接在一起。
- 为了避免意义上的不明确，我们把直接连接计算机的网络称为**物理网络**，而互联网是由物理网络集合构成的**逻辑网络**。

网络（物理网络）



(a)

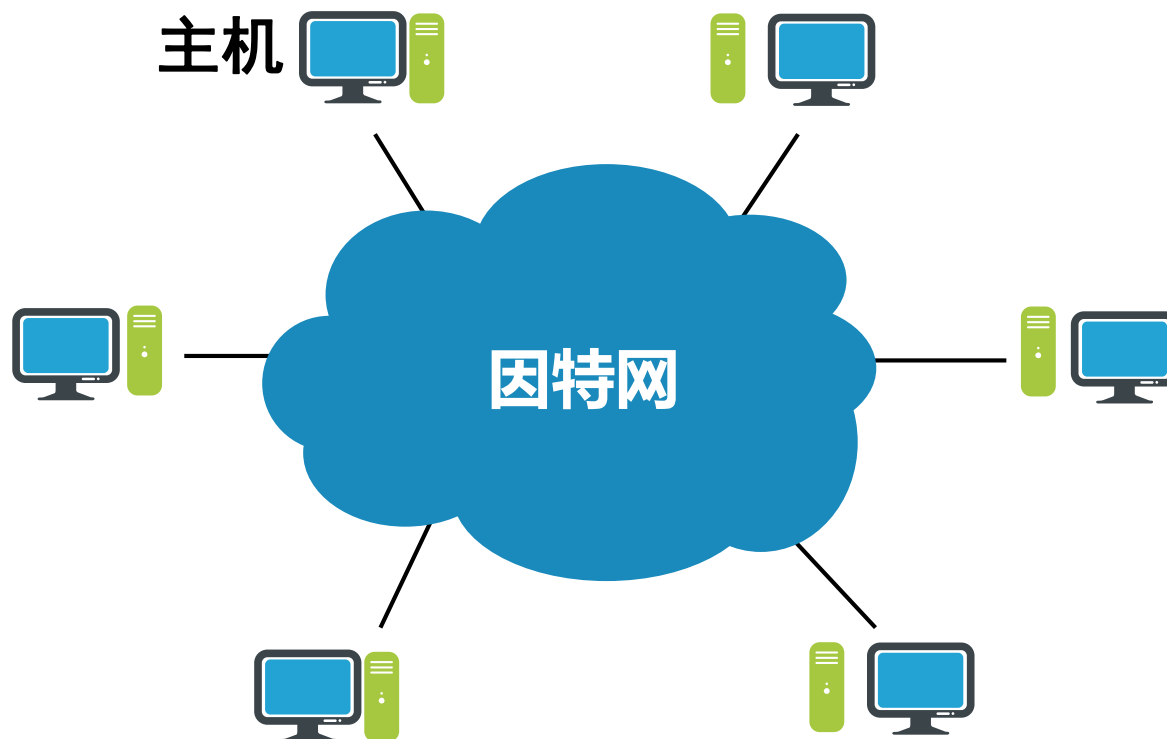
互联网（网络的网络）



(b)



# 因特网与连接的主机





## 1.2.2 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。



## 1.2.2 因特网发展的三个阶段

### 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 **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。

### 三级结构的因特网

- 第二阶段的特点是建成了三级结构的因特网。
- 三级计算机网络, 分为主干网、地区网和校园网 (或企业网)。

### 多层次 ISP 结构的因特网

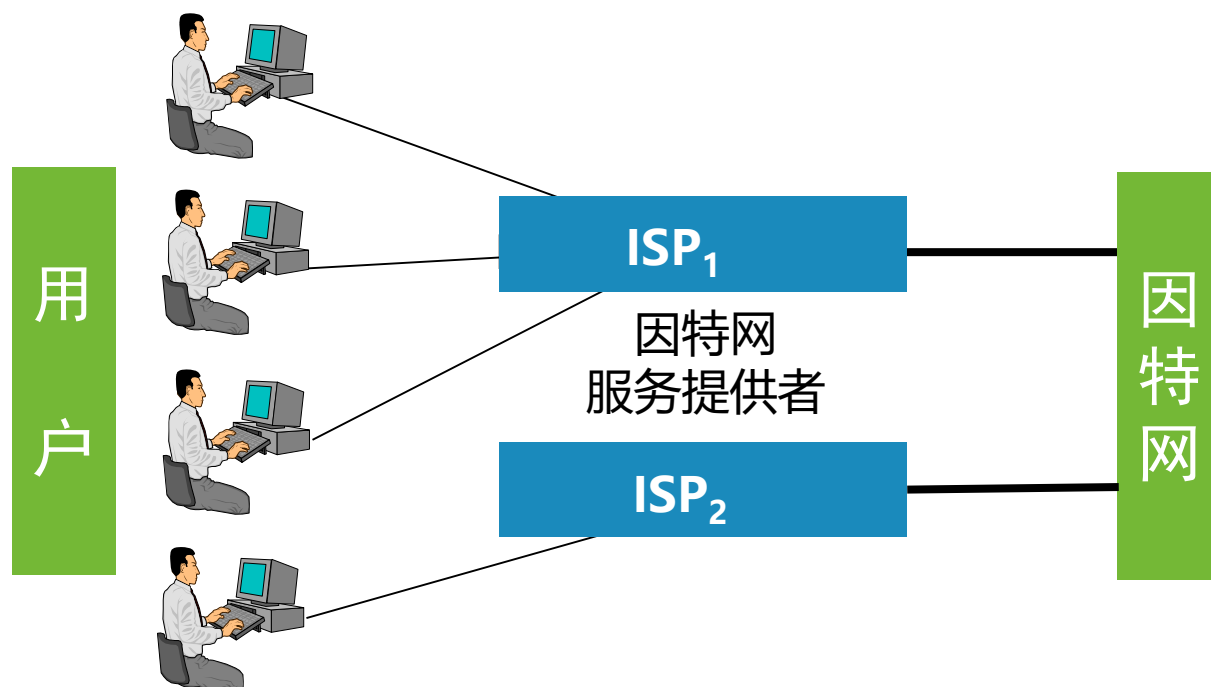
- 第三阶段的特点是逐渐形成了多层次 ISP 结构的因特网。
- 出现了因特网服务提供者 ISP (Internet Service Provider)。





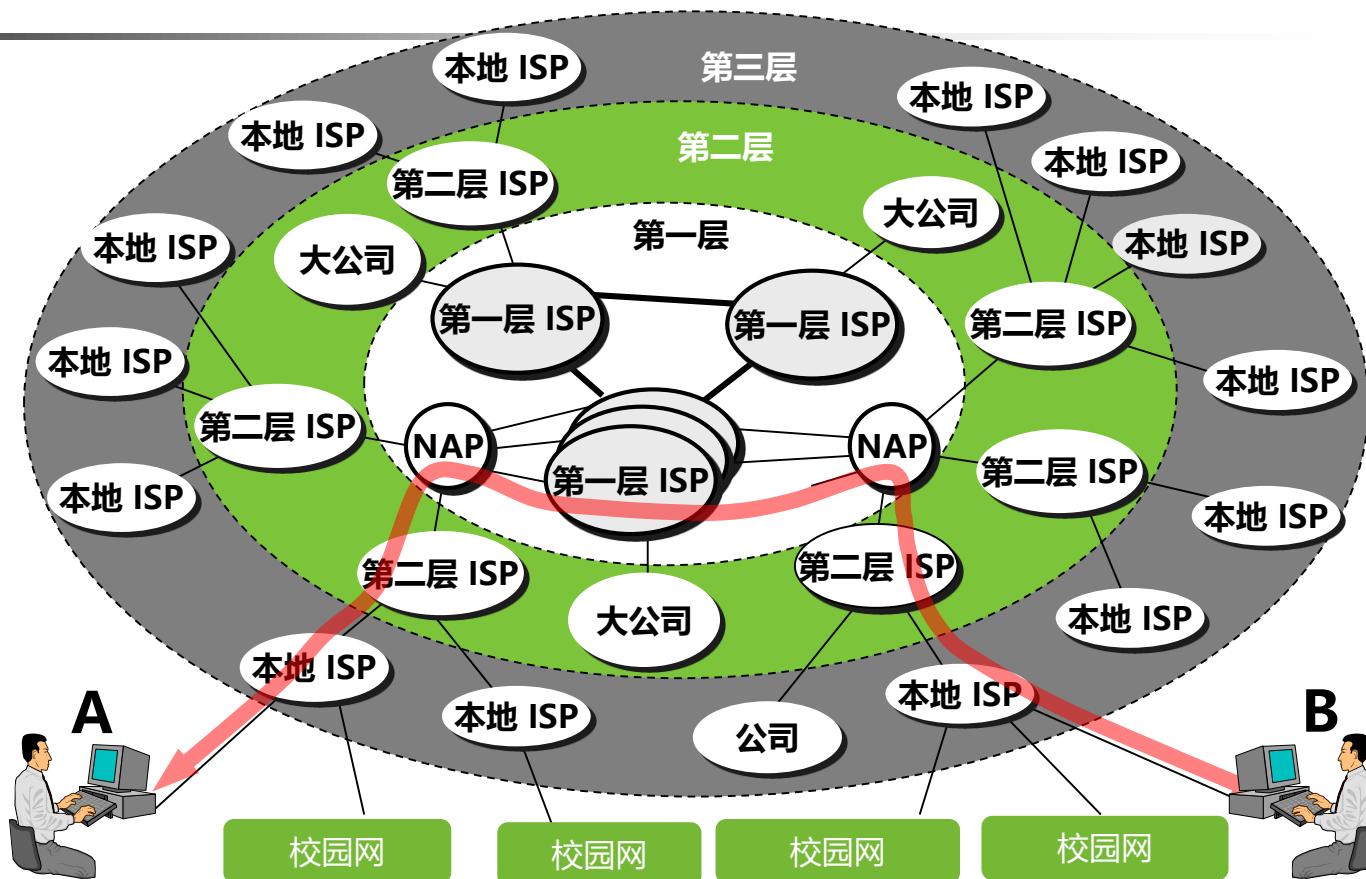
# 用户通过 ISP 上网

- 根据提供服务的覆盖面积大小以及所拥有的
- IP 地址数目的不同, ISP 也分成不同的层次。





# 用户通过 ISP 上网





# 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

	网络数	主机数	用户数	管理机构数
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	$10^6$	$10^8$	$10^9$	$10^3$

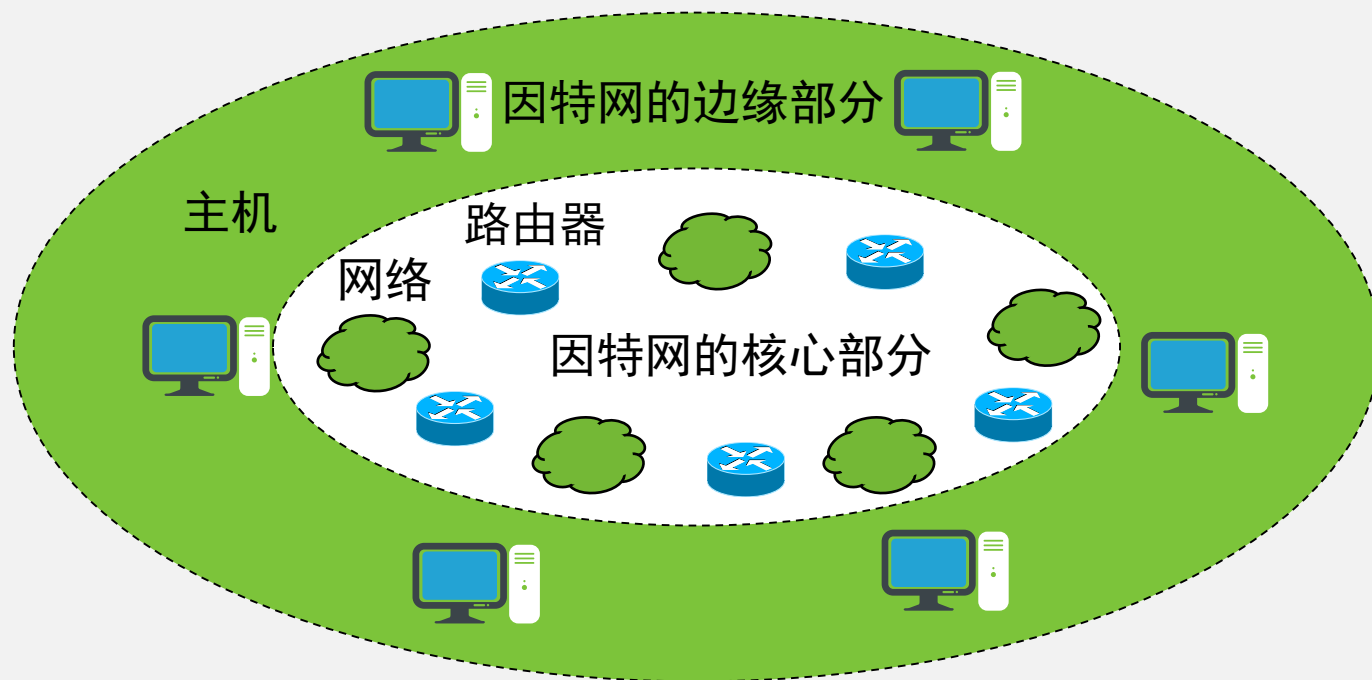
## 1.3 因特网的组成

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”





# 网络应用程序的工作方式

在网络边缘的端系统中运行的程序之间的g工作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

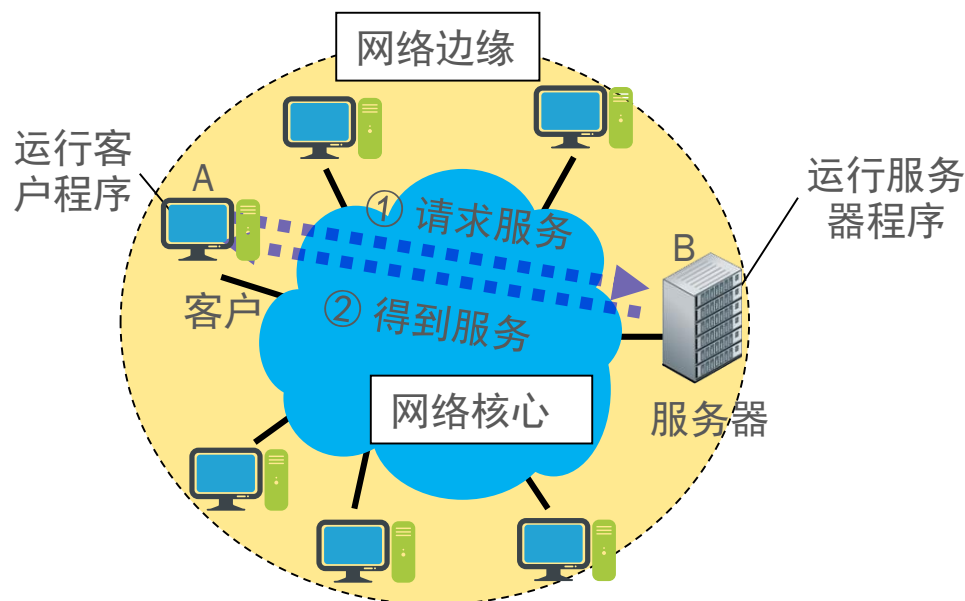


# 1. 客户服务器方式

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。



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

01

OPTION

被用户调用后运行，在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。

02

可与多个服务器进行通信。

03

OPTION

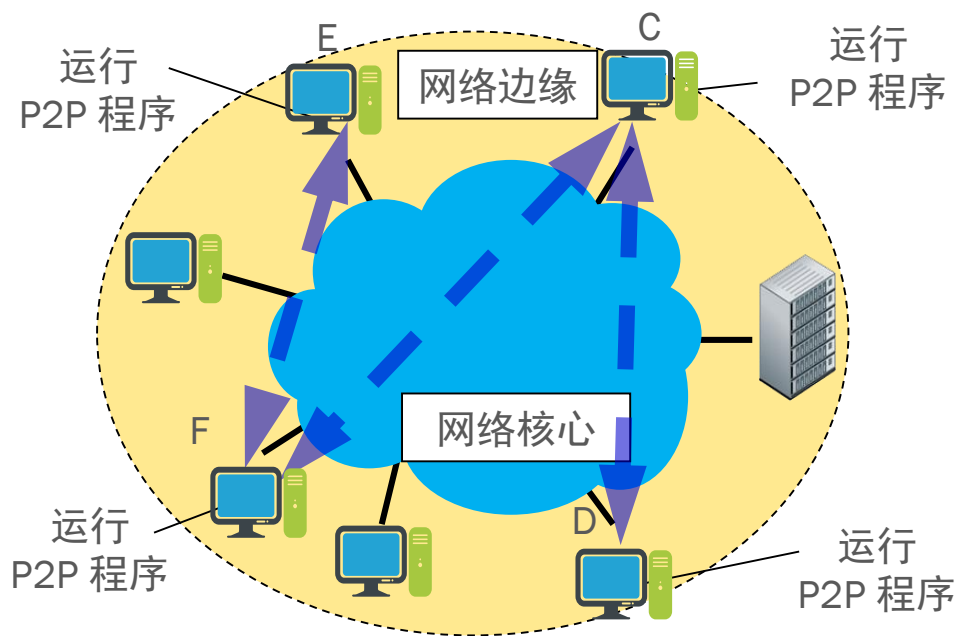
不需要特殊的硬件和很复杂的操作系统。

## 2. 对等连接方式

在**对等连接**(peer-to-peer, 简称为**P2P**) 方式的网络应用中, 通常没有固定的服务请求者和服务提供者, 分布在网络中的应用进程是对等的, 被称为**对等方**

### 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。



对等方相互之间直接通信, 每个对等方即是服务的请求者, 又是服务的提供者



## 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（即传送或接收各种形式的数据）。
- 在网络核心部分起特殊作用的是**路由器**(router)。

### 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。



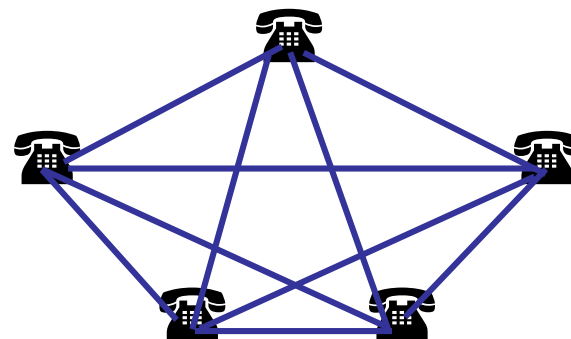
# 1. 电路交换的主要特点

两部电话机只需要用一对电线就能够互相连接起来。



## 更多的电话机互相连通

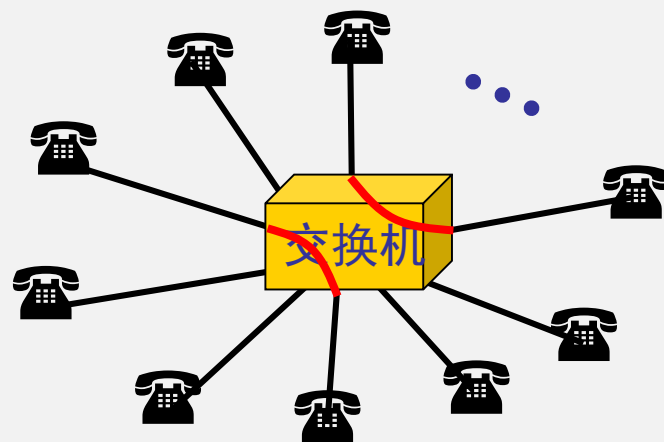
- 5 部电话机两两相连，需 10 对电线。
- $N$  部电话机两两相连，需  $N(N - 1)/2$  对电线。
- 当电话机的数量很大时，这种连接方法需要的电线对的数量与电话机数的平方成正比。





# 使用交换机

当电话机的数量增多时，就要使用交换机来完成全网的交换任务。



## “交换”的含义

在这里，“**交换**” (switching) 的含义就是**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。



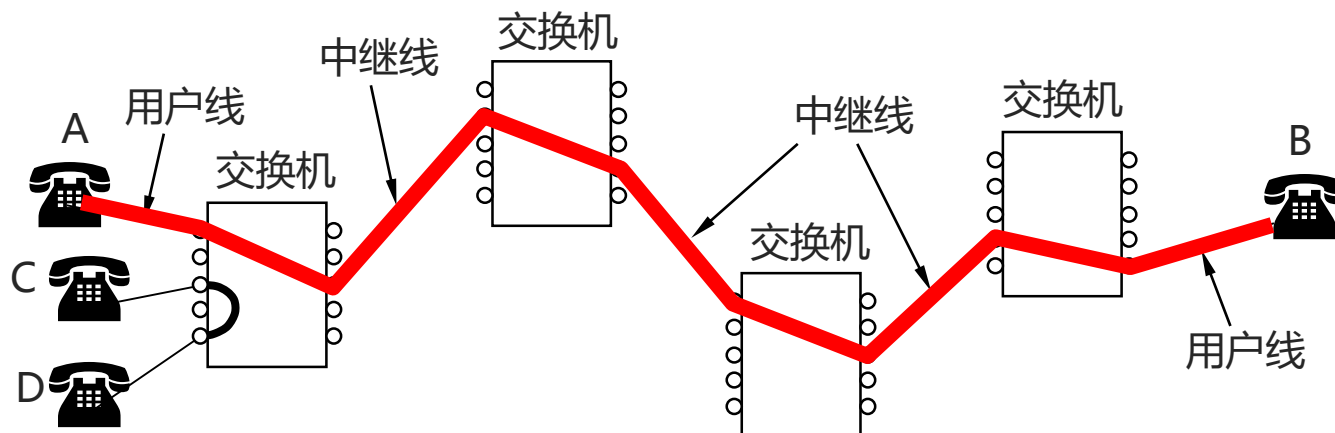
# 电路交换的特点

- 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
  - ◆ 通信
  - ◆ 释放连接



# 电路交换举例

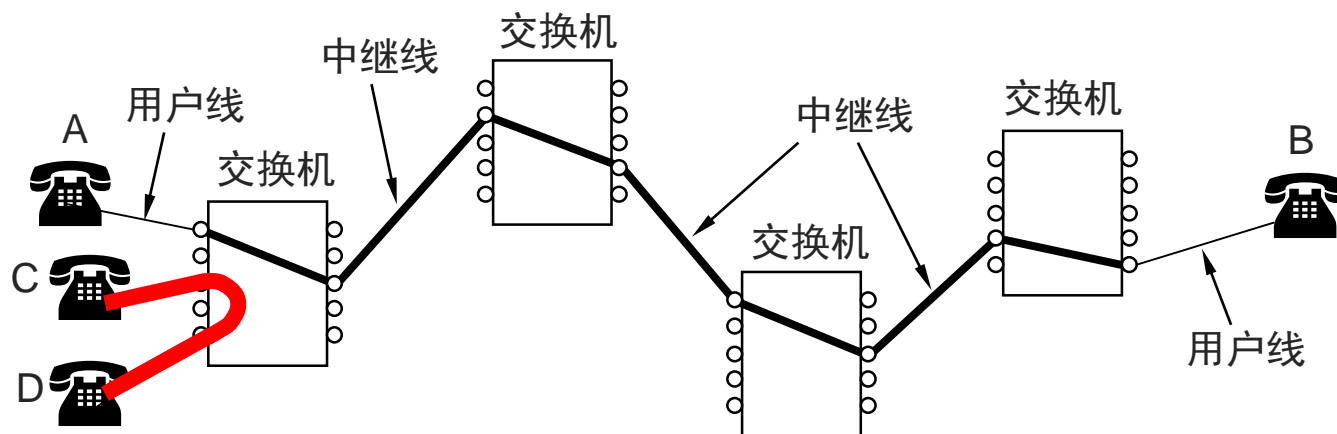
- A 和 B 通话经过四个交换机
- 通话在 A 到 B 的连接上进行





# 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



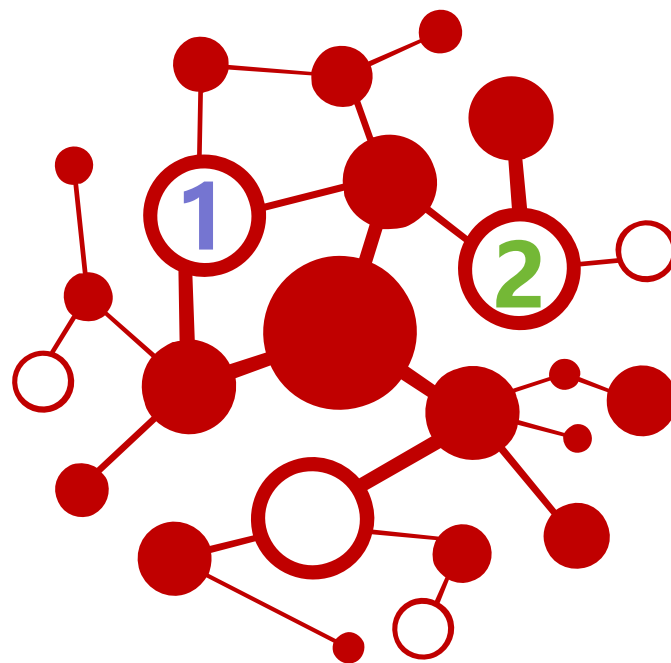




## 电路交换传送计算机数据效率低

计算机数据具有突发性。

这导致通信线路的利用率很低。





## 2. 分组交换的主要特点

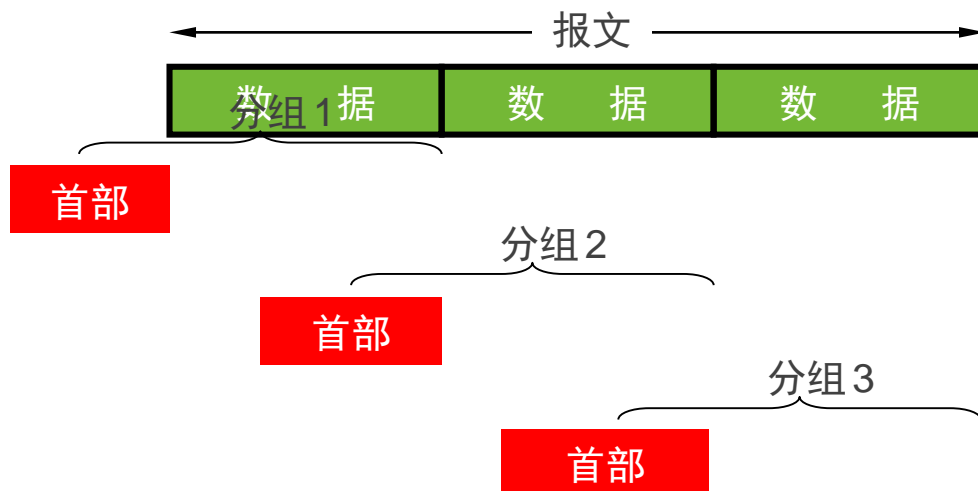
在发送端，先把较长的报文划分成较短的、固定长度的数据段。



假定这个报文较长不便于传输

### 添加首部构成分组

每一个数据段前面添加上首部构成分组。

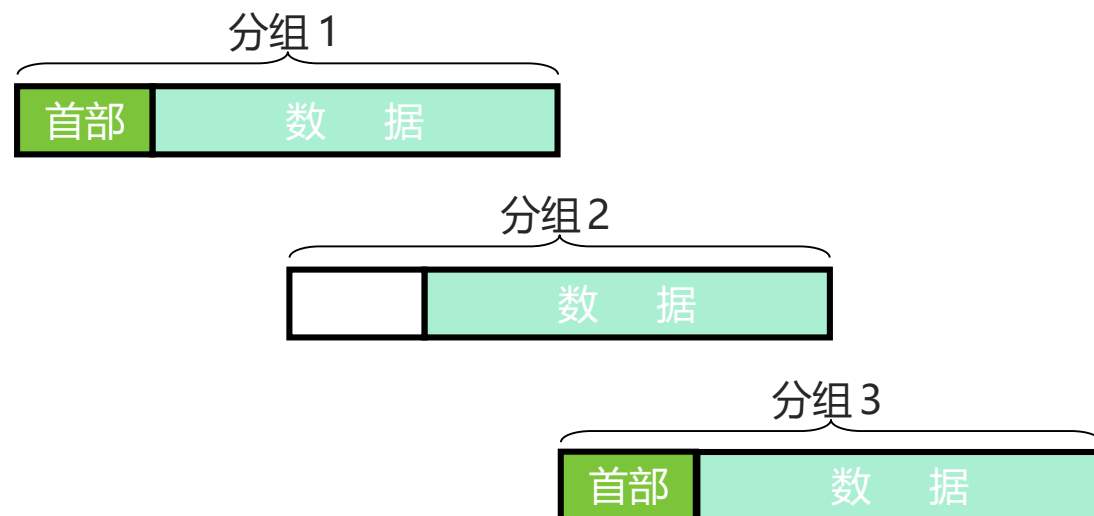


请注意：现在左边是“前面”



# 分组交换的传输单元

- 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）。





# 分组交换的传输单元

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。

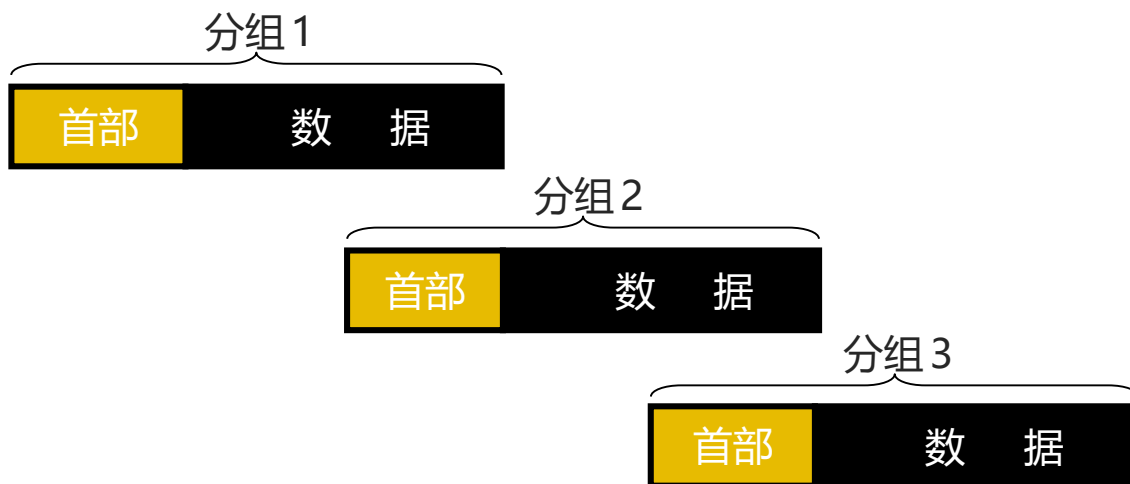




# 收到分组后剥去首部

- 接收端收到分组后剥去首部还原成报文。

收到的数据





# 最后还原成原来的报文

- 最后，在接收端把收到的数据**恢复成为原来的报文**。

报文

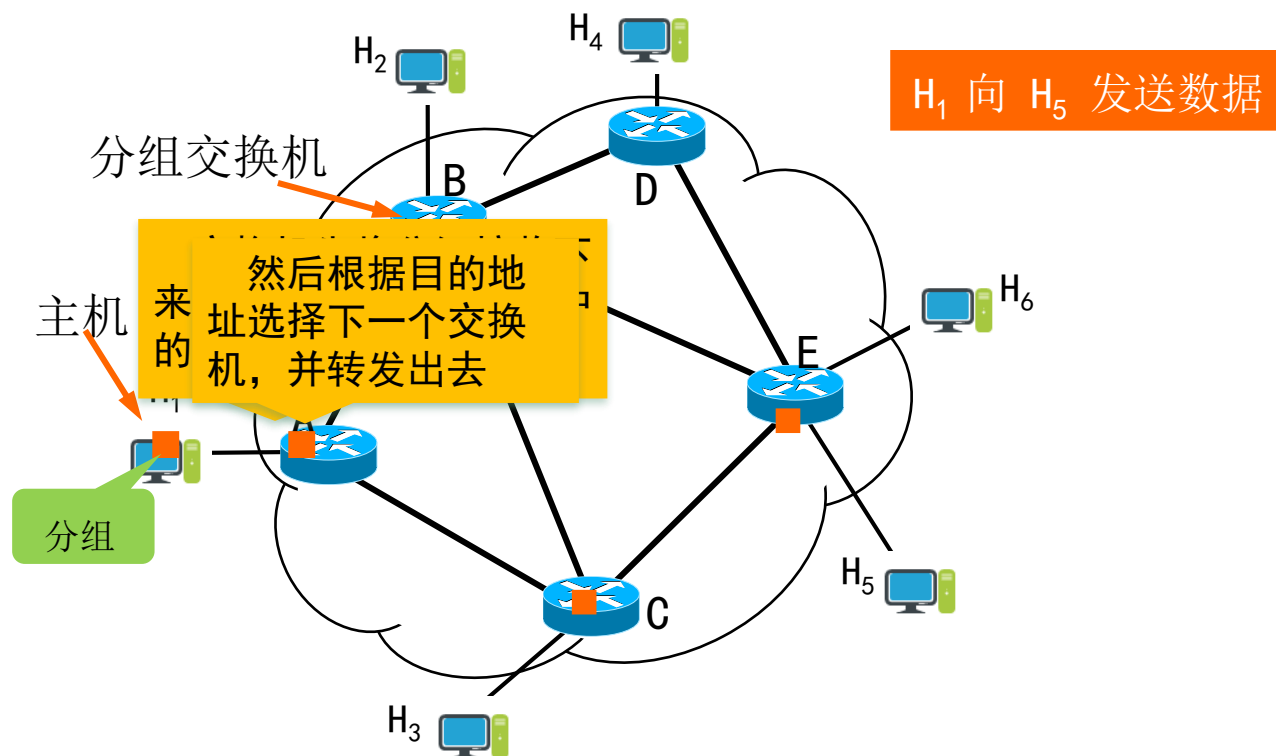
1101000110101010110101011100010011010010

- 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

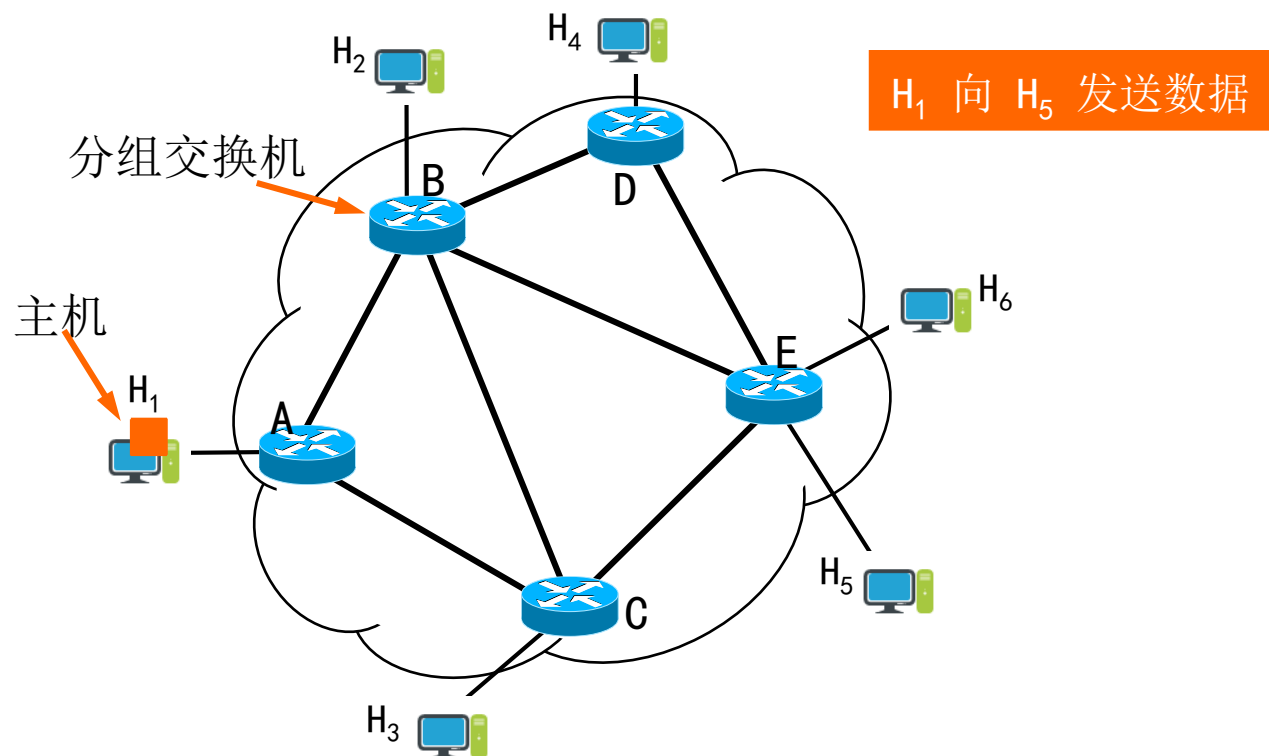
单个分组的转发过程





# 分组交换网的示意图

连续多个分组的转发过程

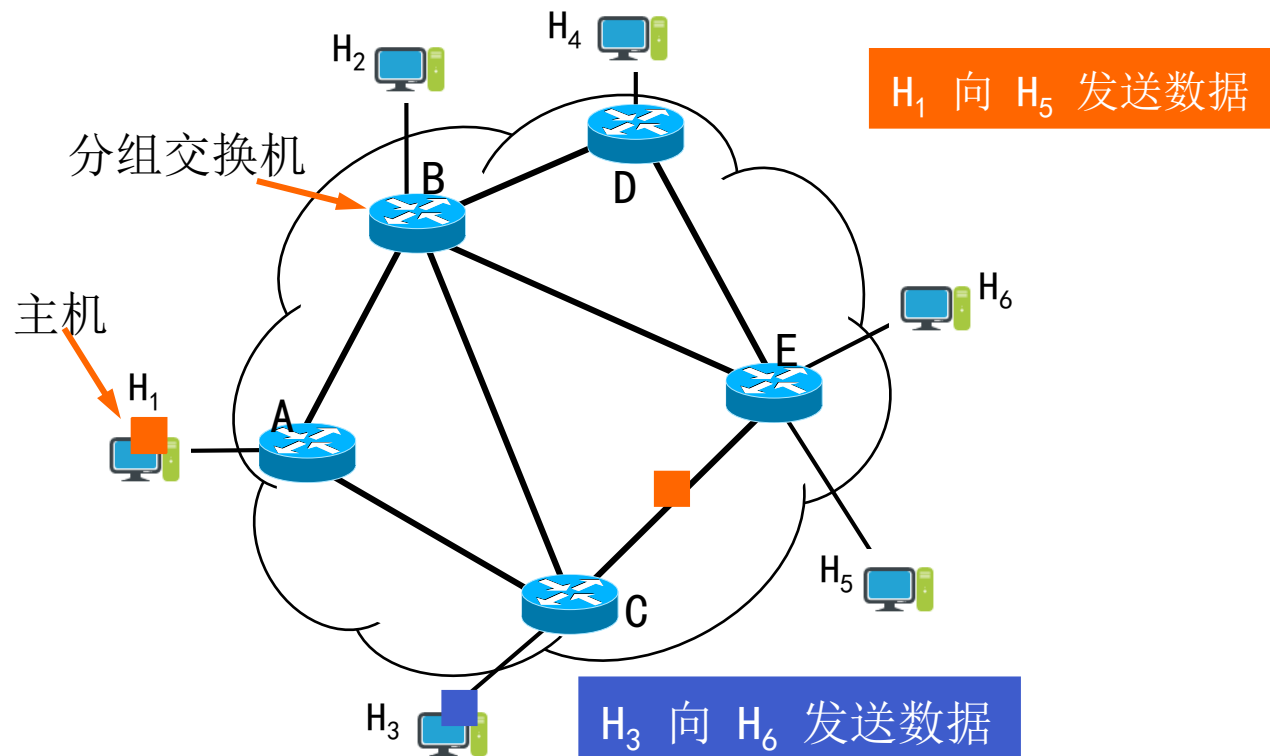






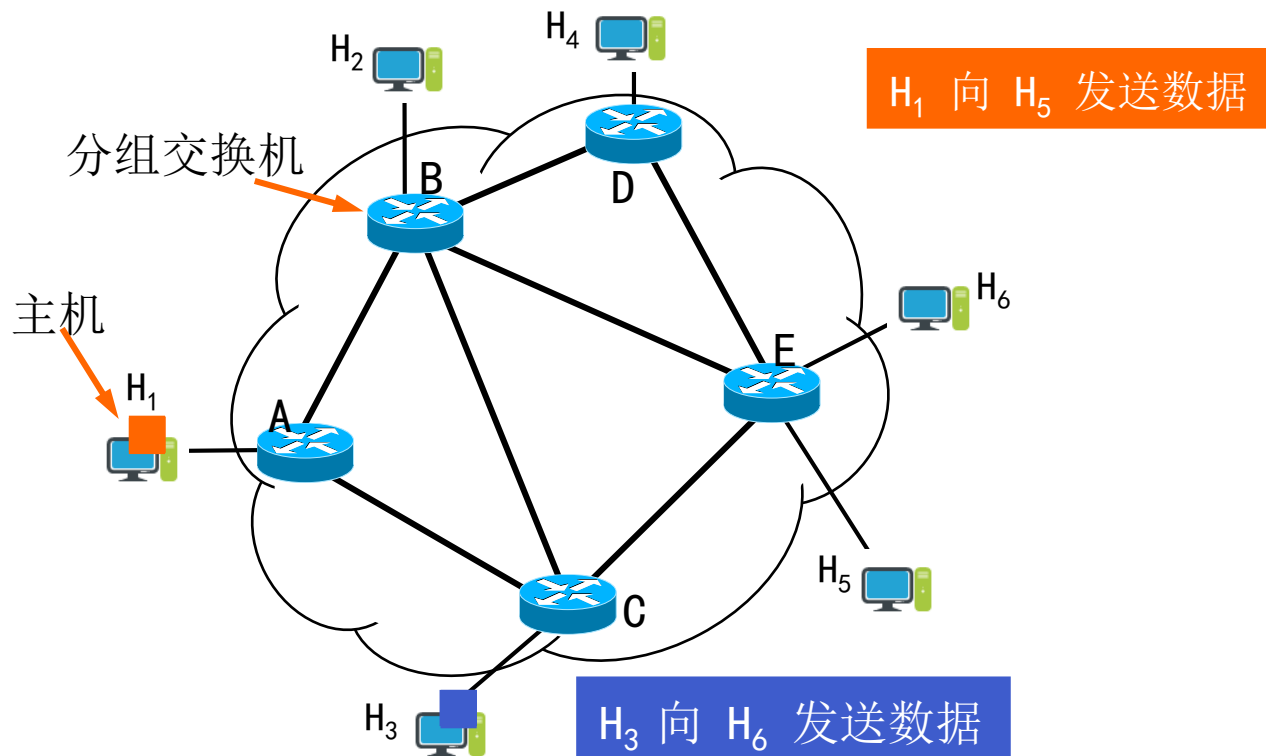
# 分组交换网的示意图

两台主机同时发送的情况



# 分组交换网的示意图

两台主机连续发送的情况





# 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。



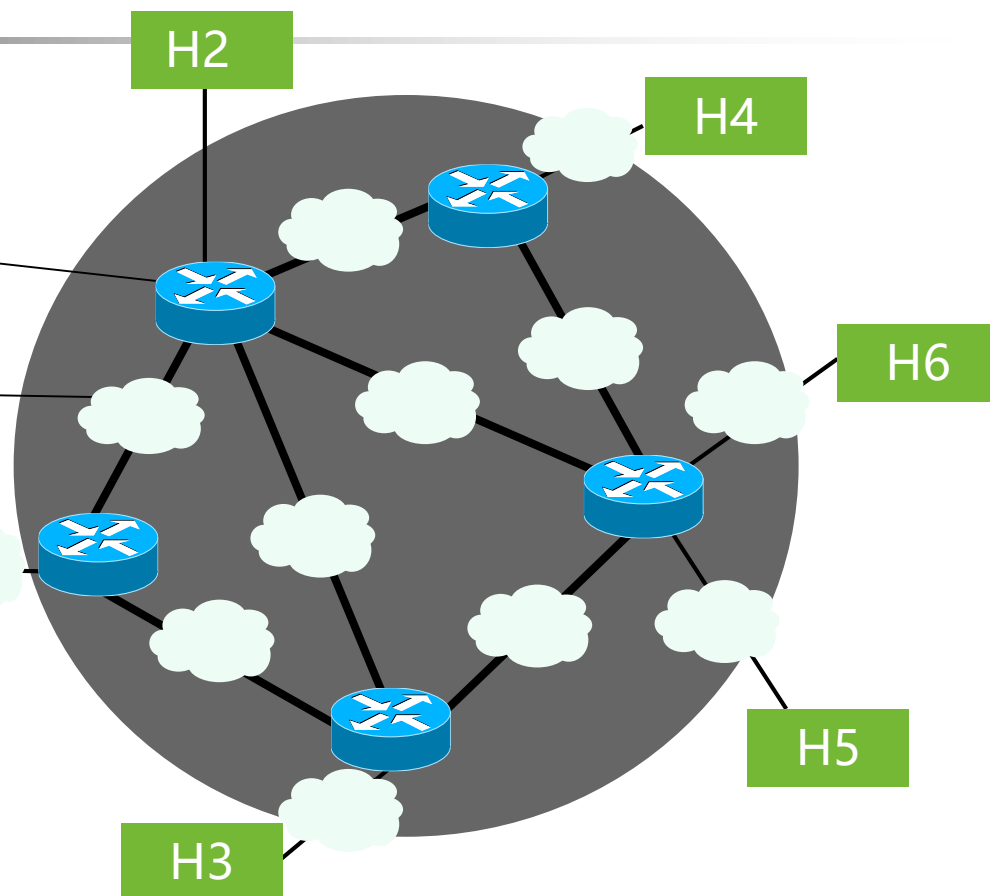
# 因特网的核心部分

网络核心部分

路由器

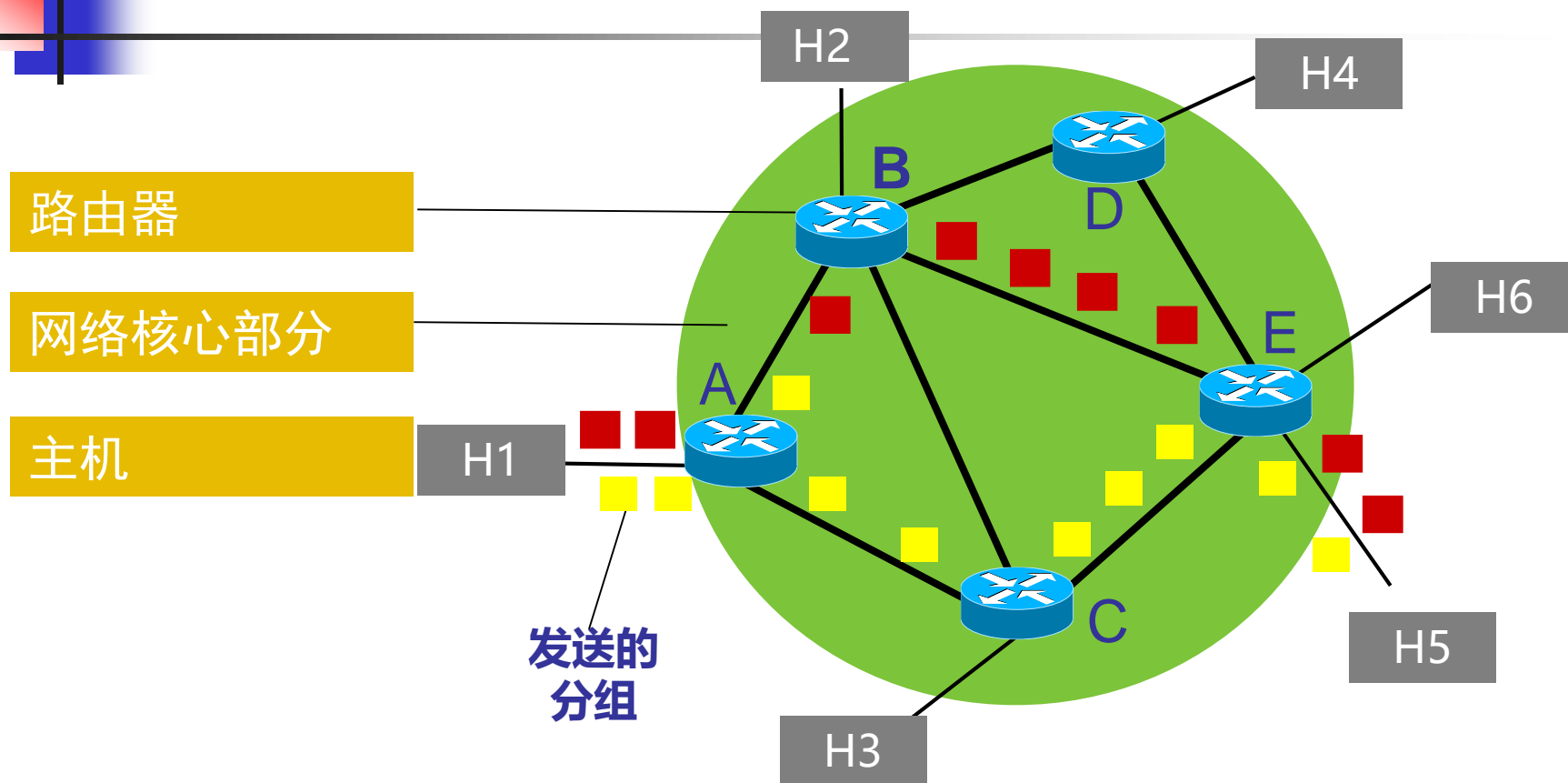
网络

主机





# 因特网的核心部分





# 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**。
- 无法确保通信时端到端所需的带宽，在通信量较大时可能造成**网络拥塞**。



# 存储转发原理并非完全新的概念

- 在 20 世纪 40 年代，电报通信也采用了基于人工存储转发原理的报文交换(message switching)。
- 报文交换虽然采用的是人工方式，但原理上就是存储转发。

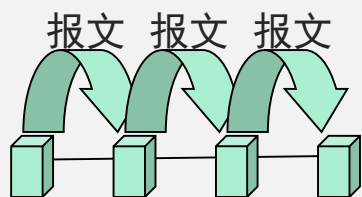
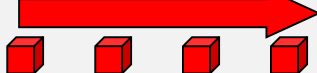




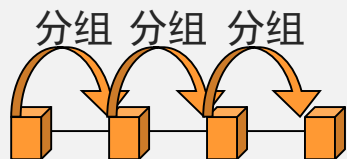
# 三种交换的比较

数据  
传送的  
特点

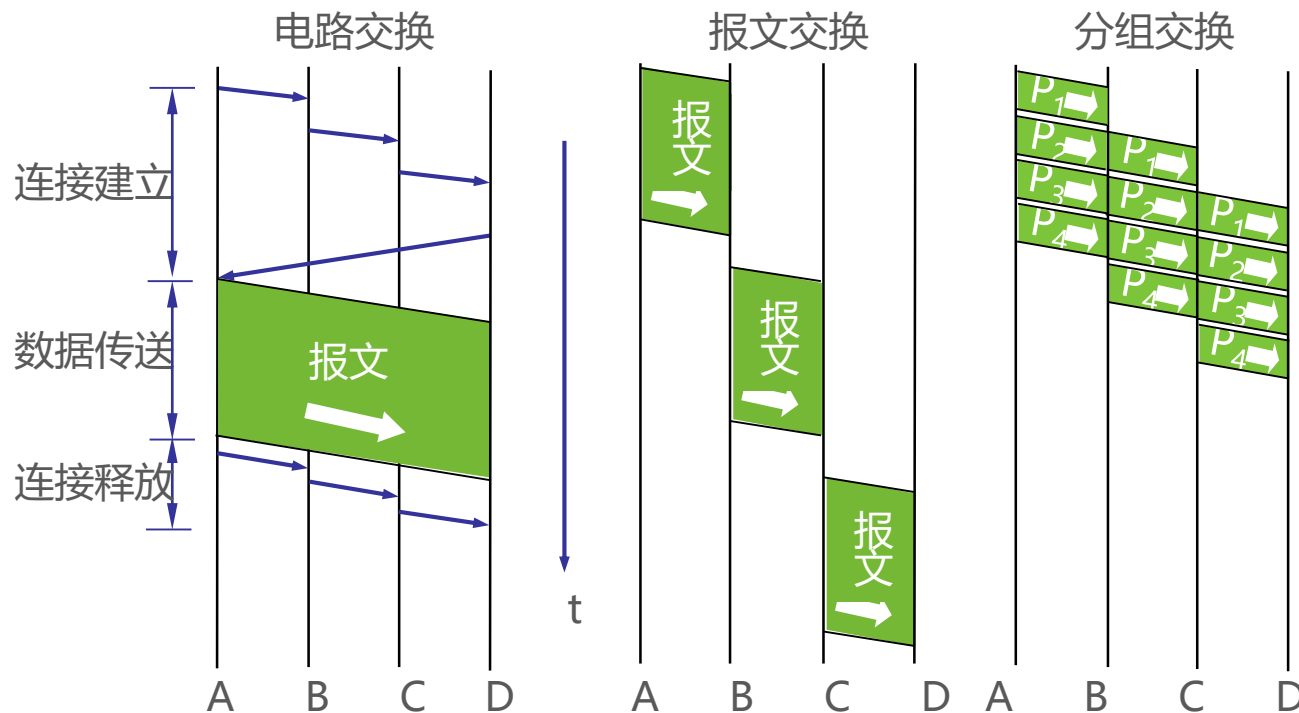
比特流直达终点



存储  
转发 存储  
转发



存储  
转发 存储  
转发





# 计算机网络的性能指标：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个性能指标。速率的单位是 b/s，或kb/s, Mb/s, Gb/s 等。



# 计算机网络的性能指标：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”是数字信道所能传送的“**最高数据率**”的同义语，单位是“**比特每秒**”，或 b/s (bit/s)。



# 计算机网络的性能指标：吞吐量

- **吞吐量/吞吐率**(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。
- 受网络的带宽或网络的额定速率的限制。



# 计算机网络的性能指标：时延(delay 或 latency)

- **发送时延**（传输时延） 发送数据时，数据块从结点进入到传输媒体所需要的时间。
- **发送速率** 通常是以信道最高数据率发送数据，因此就是**信道带宽**。
- **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。
- **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**，随时间变化会很大。
- 分组从一个结点转发到另一个结点所经历的总时延就是以上四种时延之和。

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

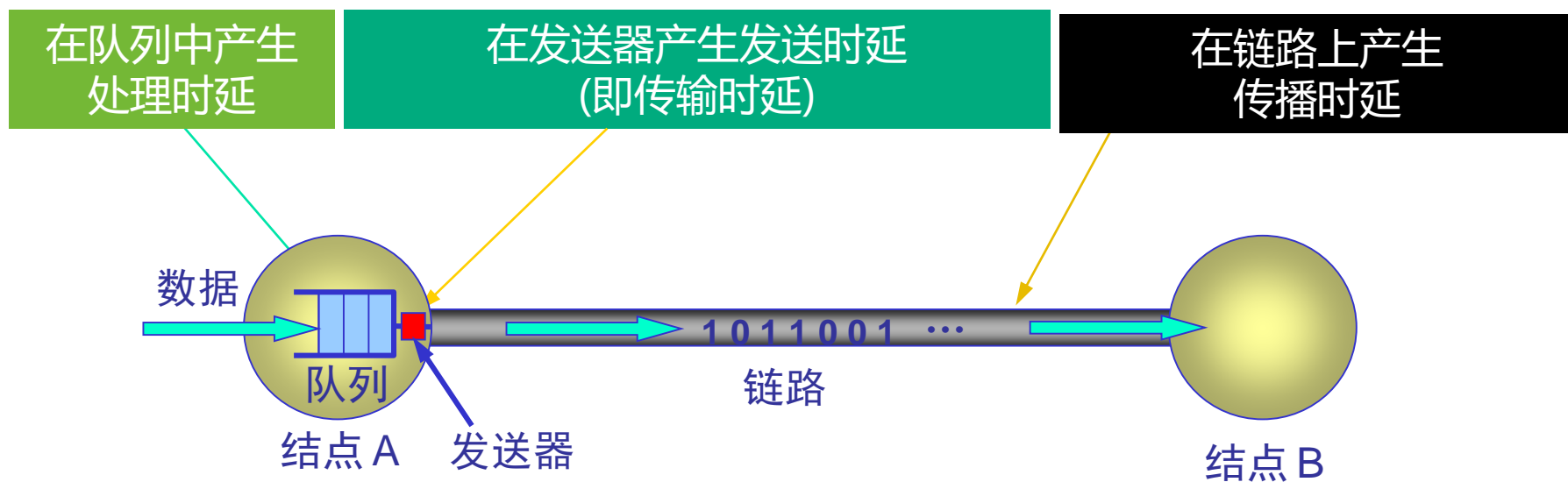
$$\text{传播时延} = \frac{\text{信道长度 (米)}}{\text{信号在信道上的传播速率 (米/秒)}}$$

$$\text{总时延} = \text{发送时延} + \text{传播时延} + \text{处理时延} + \text{排队时延}$$



# 三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传播速率。
- 提高链路带宽减小了数据的发送时延。



# 计算机网络的性能指标：丢包率

- **丢包率**即分组丢失率，是指在一定的时间范围内，分组在传输过程中丢失的分组数量与总的分组数量的比率。
- 具体：接口丢包率、结点丢包率、链路丢包率、路径丢包率、网络丢包率等。
- 在现代计算机网络中**网络拥塞**是丢包的主要原因。因此，丢包率往往反映了网络的拥塞情况。





# 计算机网络的性能指标：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。

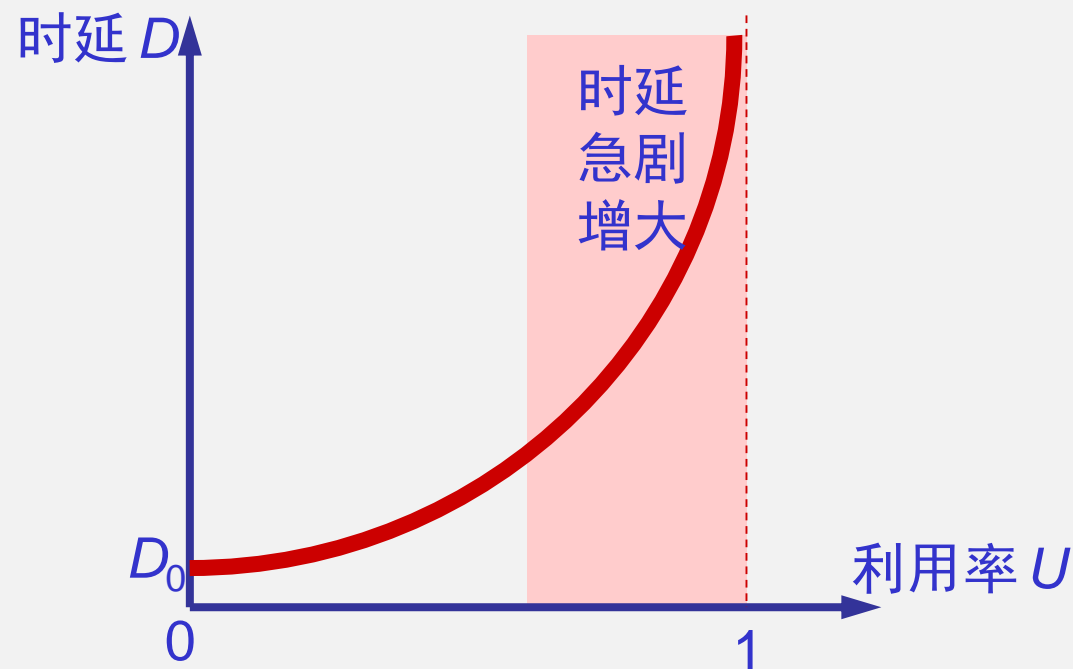


# 时延与网络利用率的关系

- 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。





# 计算机网络的分类

## 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)
- 个人区域网 PAN (Personal Area Network)

## 从网络的使用者进行分类

- 公用网 (public network)
- 专用网 (private network)



## 1.6.1 网络协议

- 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。



# 网络协议的三要素

**语法**，即数据与控制信息的结构或格式。例如，地址字段多长以及它在整个分组中的什么位置。

**语义**，即各个控制信息的具体含义，包括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（或时序）**，即事件实现顺序和时间的详细说明，包括数据应该在何时发送出去以及数据应该以什么速率发送。



# 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。



# 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。



# 两种国际标准

---

法律上的(*de jure*)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(*de facto*) 国际标准。







## 1.6.3 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。



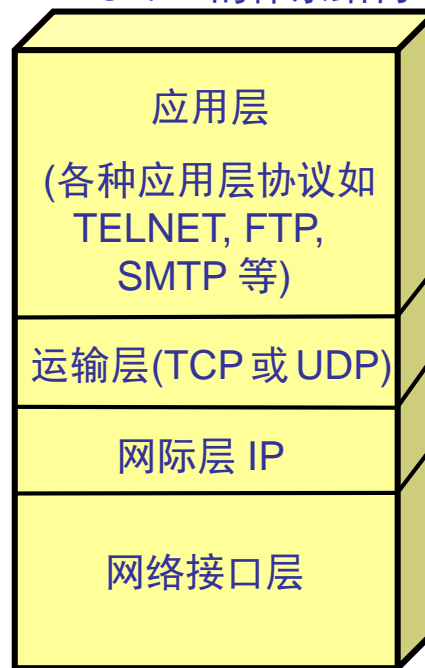


# OSI 与 TCP/IP体系结构的比较

OSI 的体系结构



TCP/IP 的体系结构

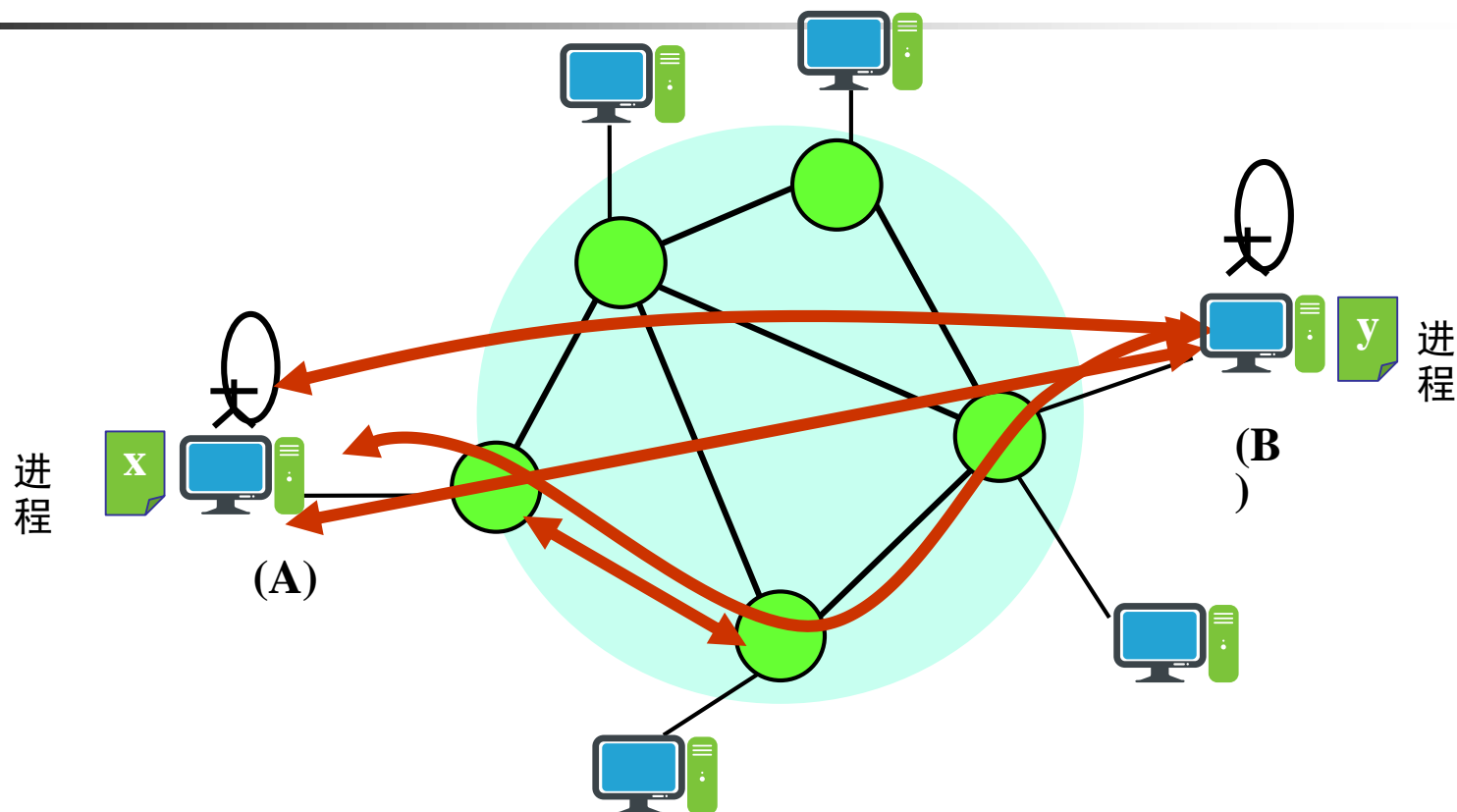


五层原理体系结构





# 各层协议要解决的问题





# 各层协议的主要功能

**物理层:** 如何在物理媒体上传送比特流

**数据链路层:** 相邻节点间分组(帧)的传输

PPP, 以太网

**网络层:** 如何将分组从源主机通过中间路由器传送到目的主机

IP, 选路协议

**运输层:** 提供不同主机上应用程序间的数据传输服务

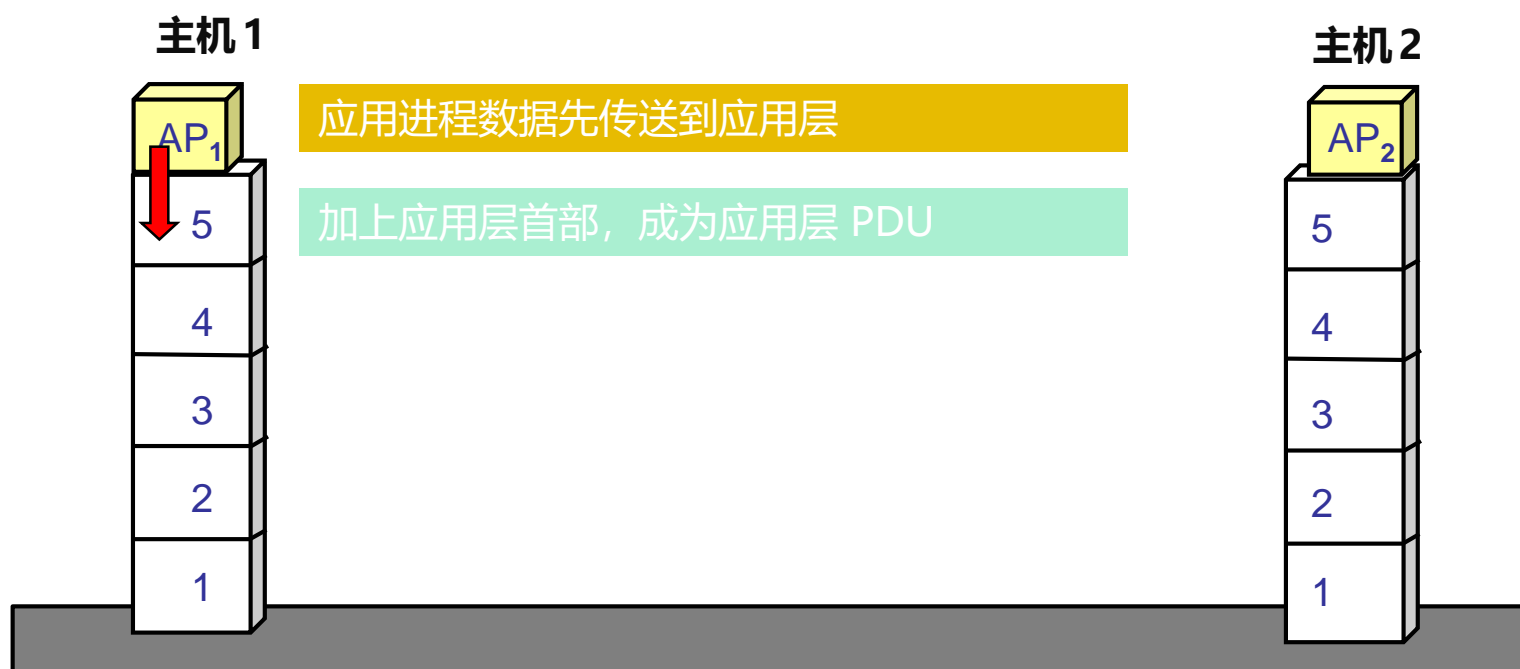
TCP, UDP

**应用层:** 如何通过应用进程间的交互来完成特定网络应用。

FTP, SMTP, STTP

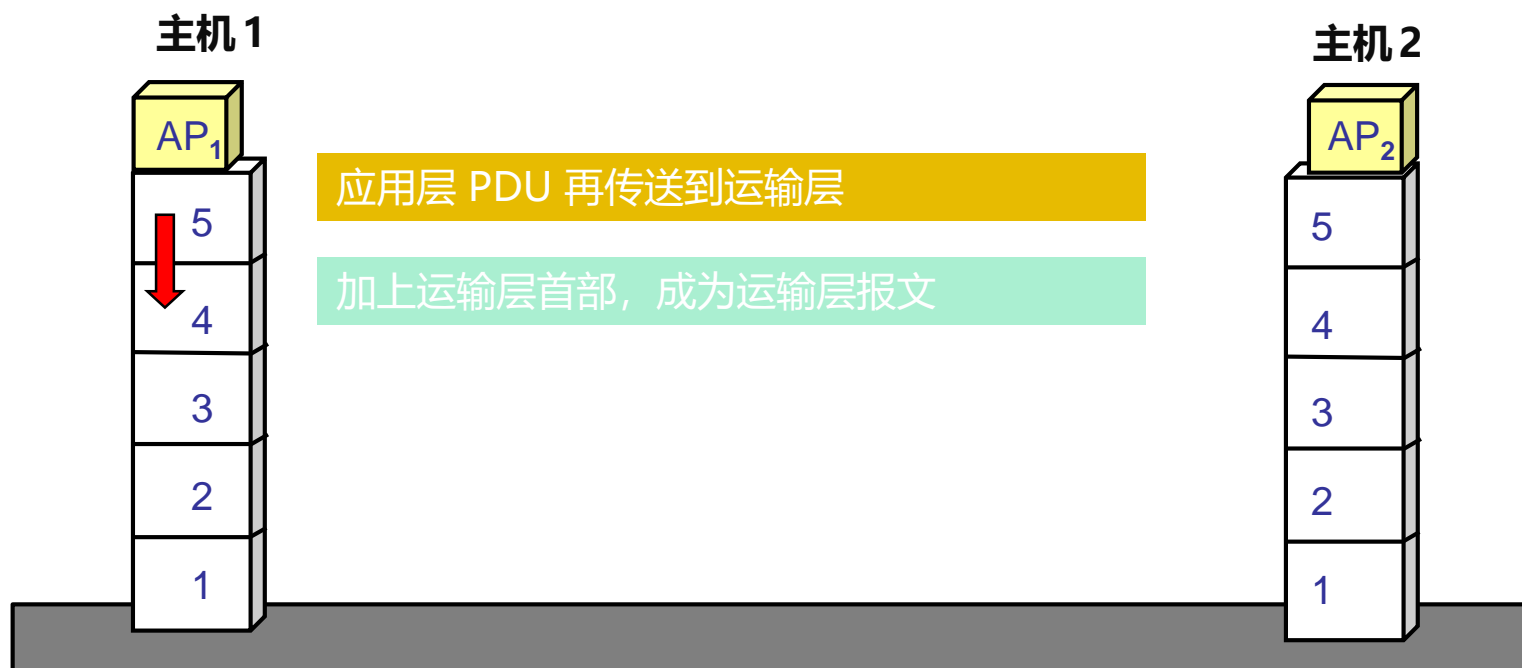


# 主机1向主机2发送数据



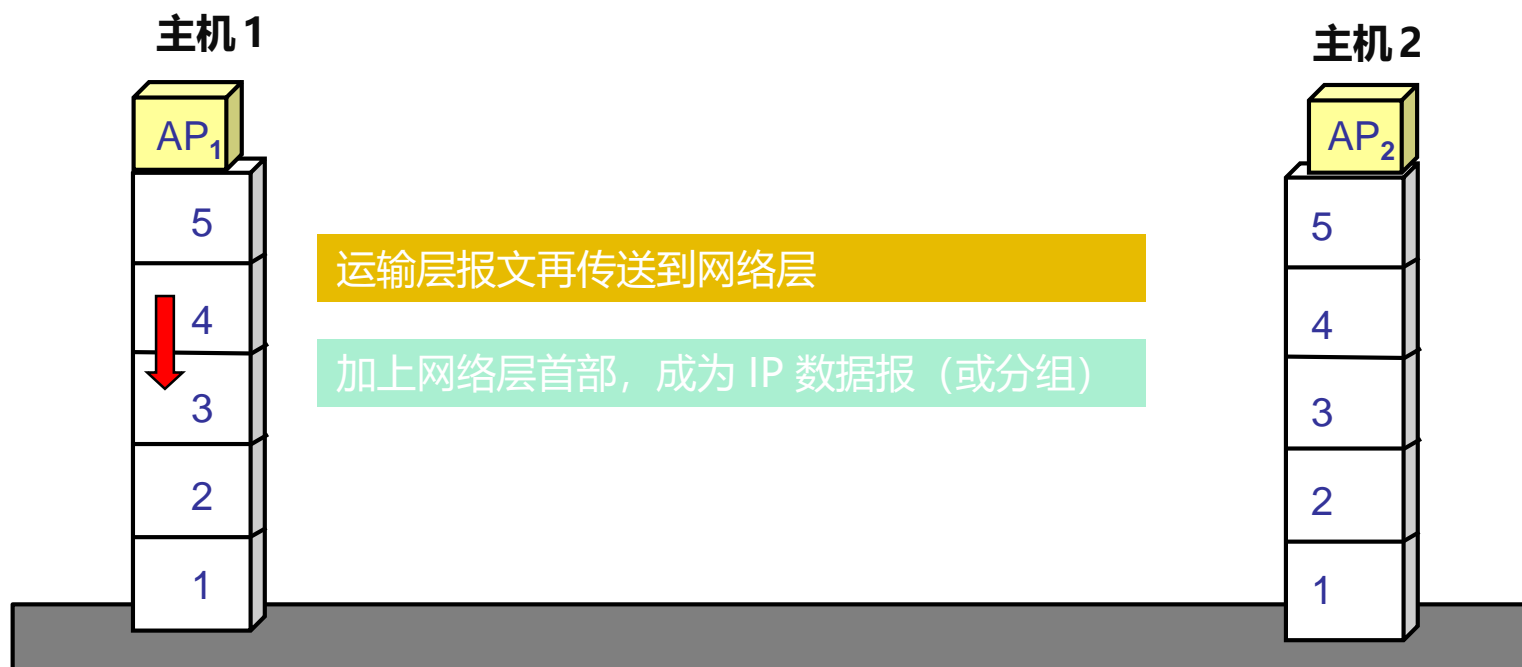


# 主机1向主机2发送数据



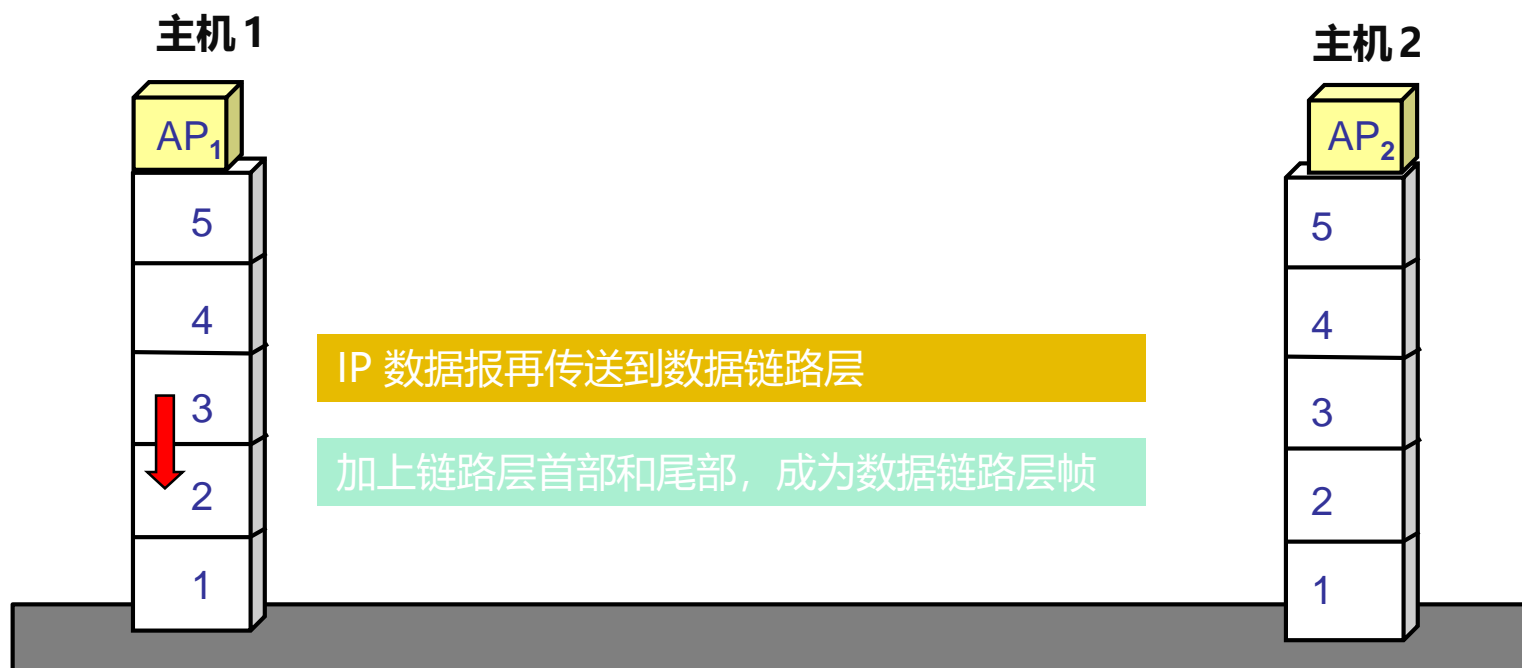


# 主机1向主机2发送数据





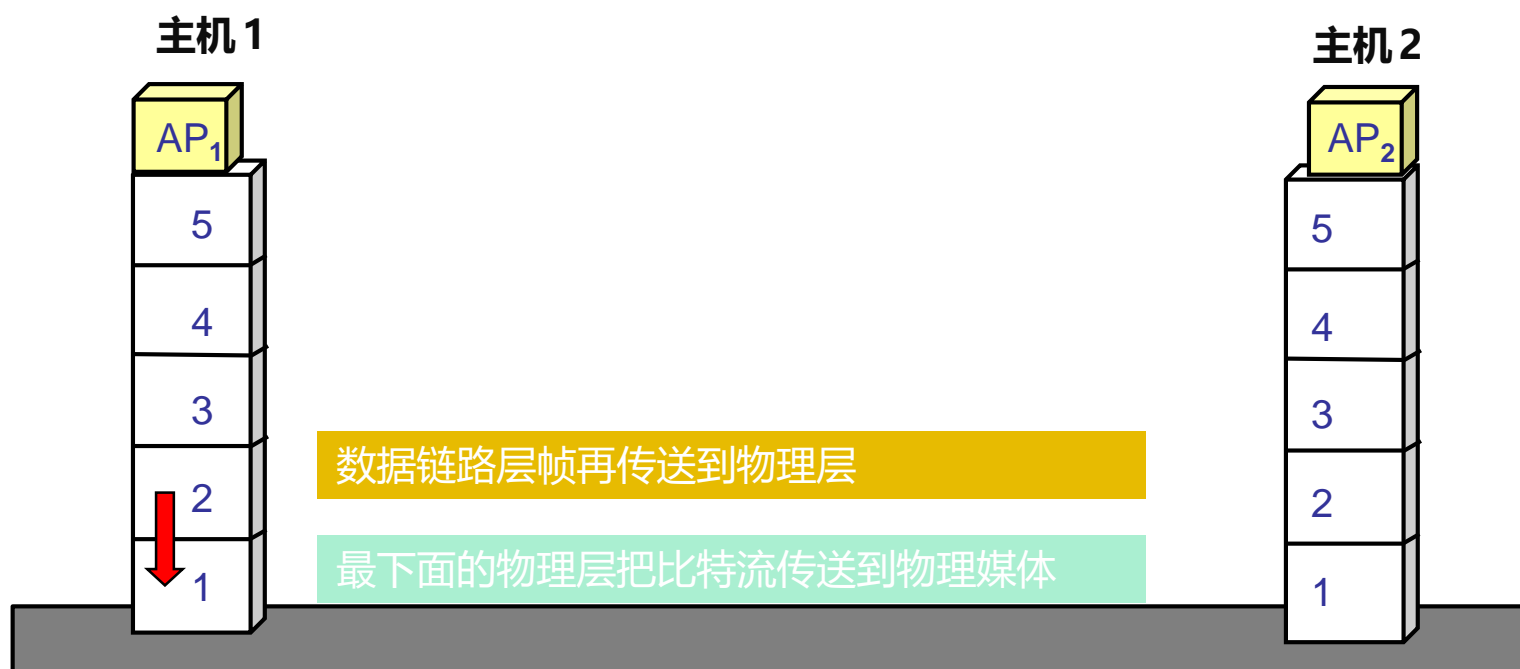
# 主机1向主机2发送数据





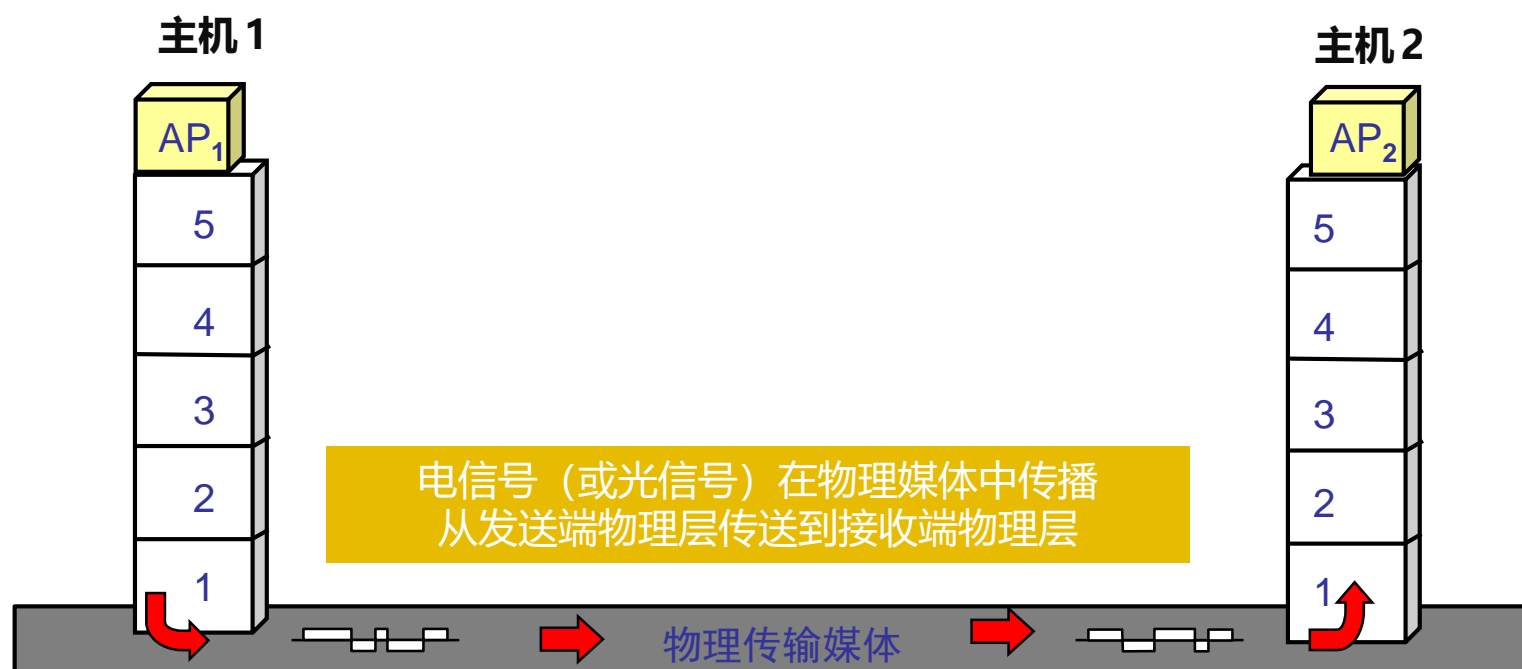


# 主机1向主机2发送数据



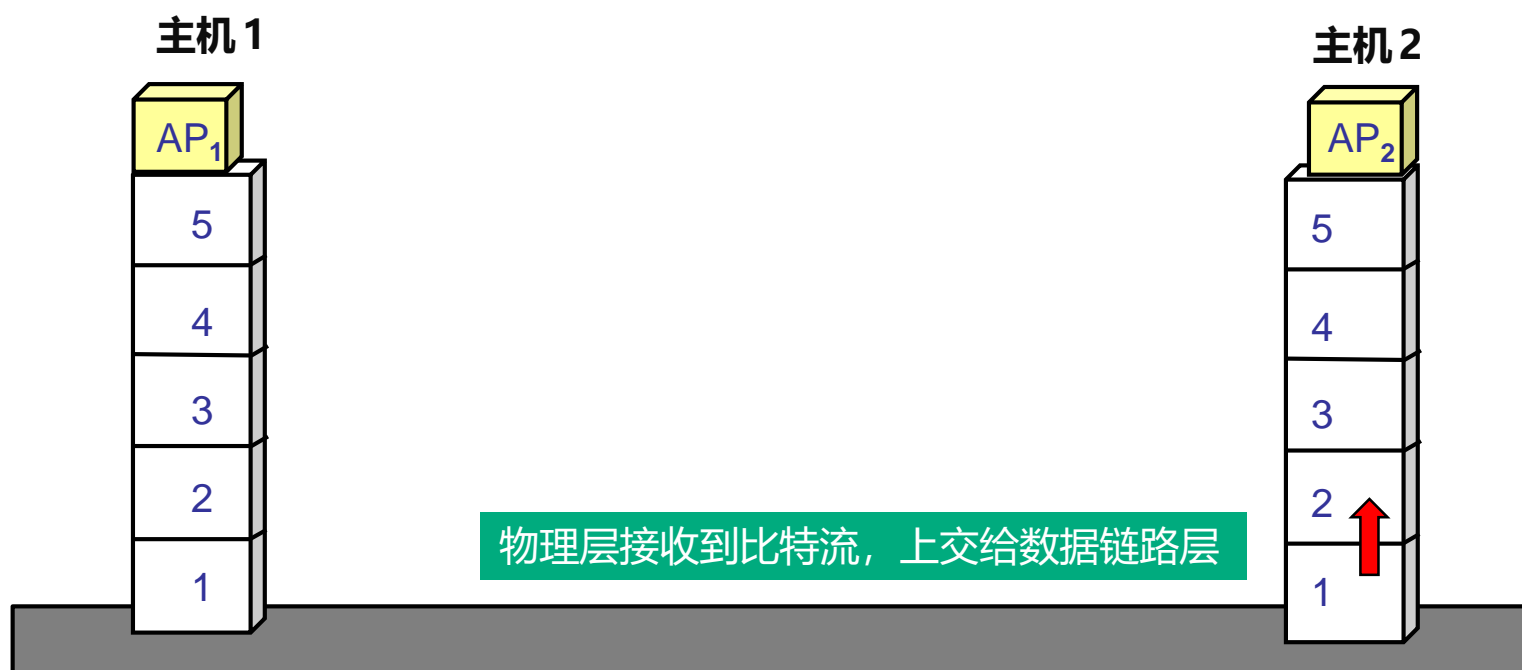


# 主机1向主机2发送数据



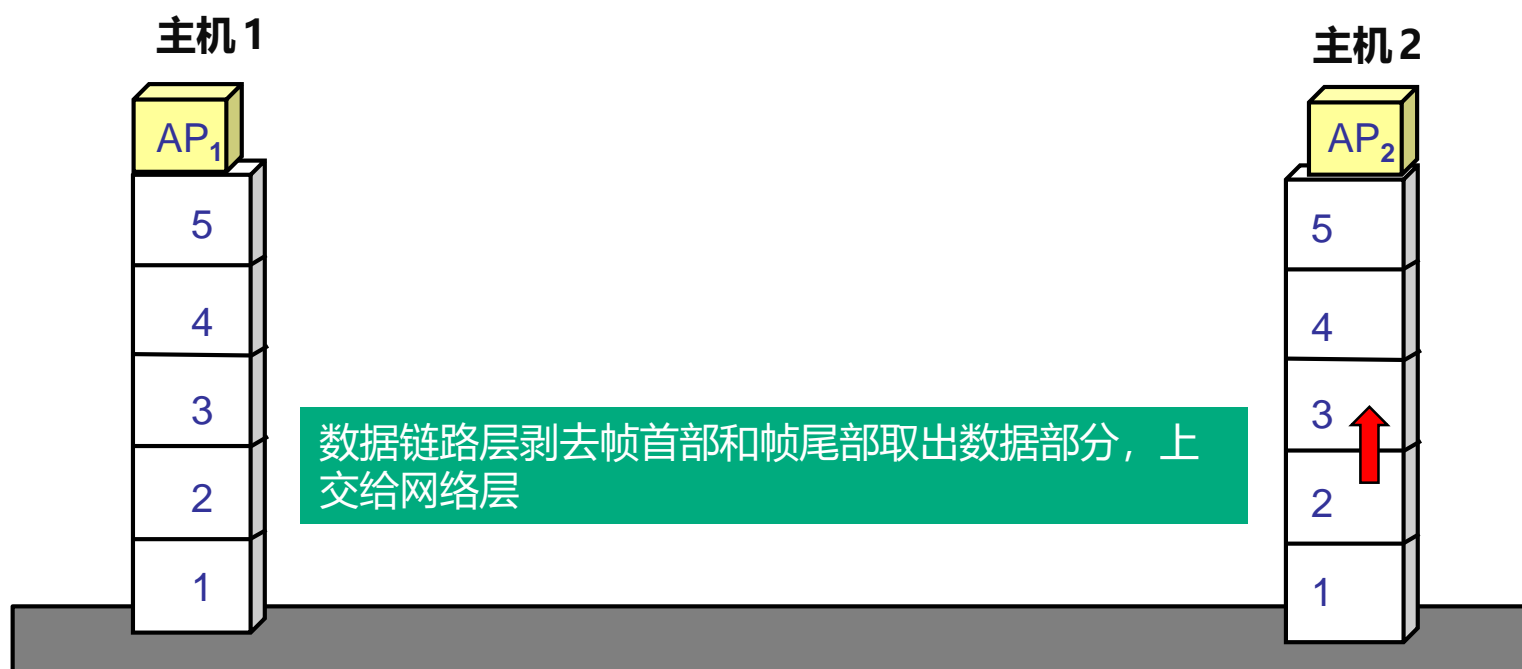


# 主机1向主机2发送数据



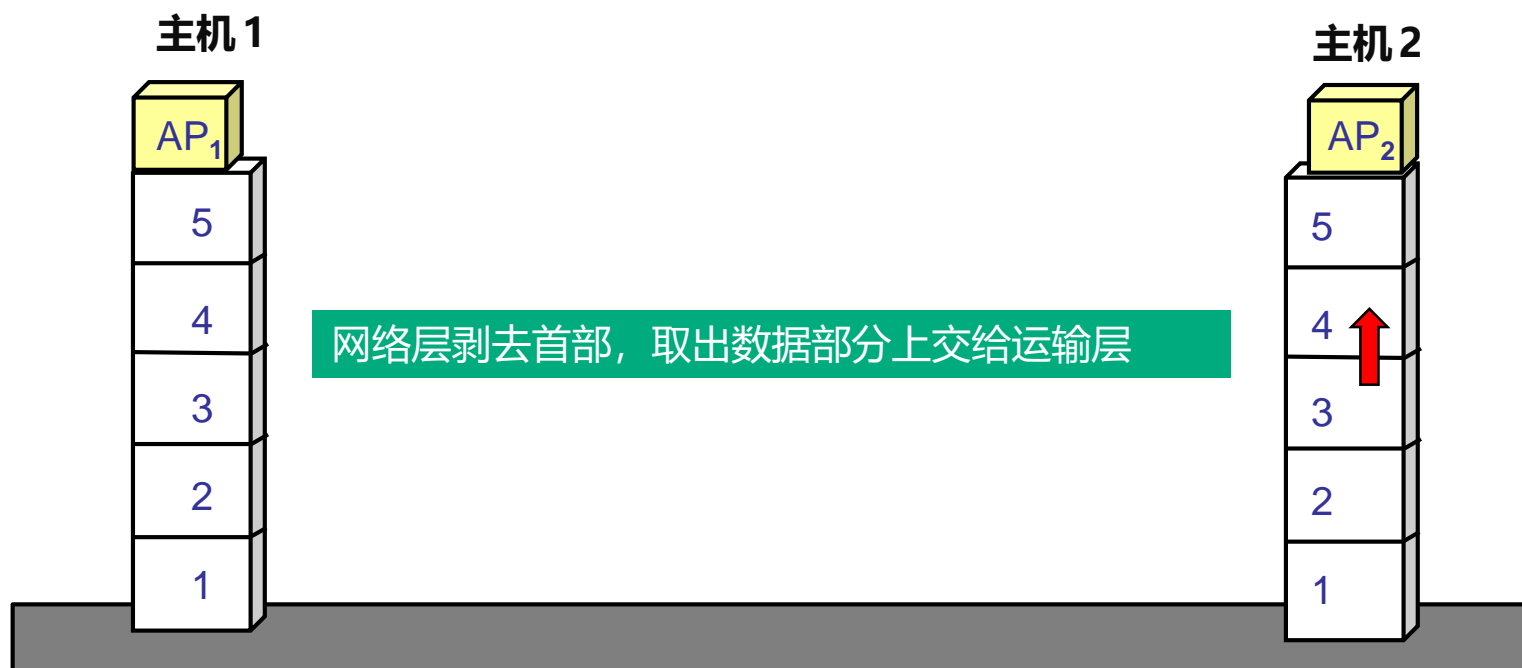


# 主机1向主机2发送数据



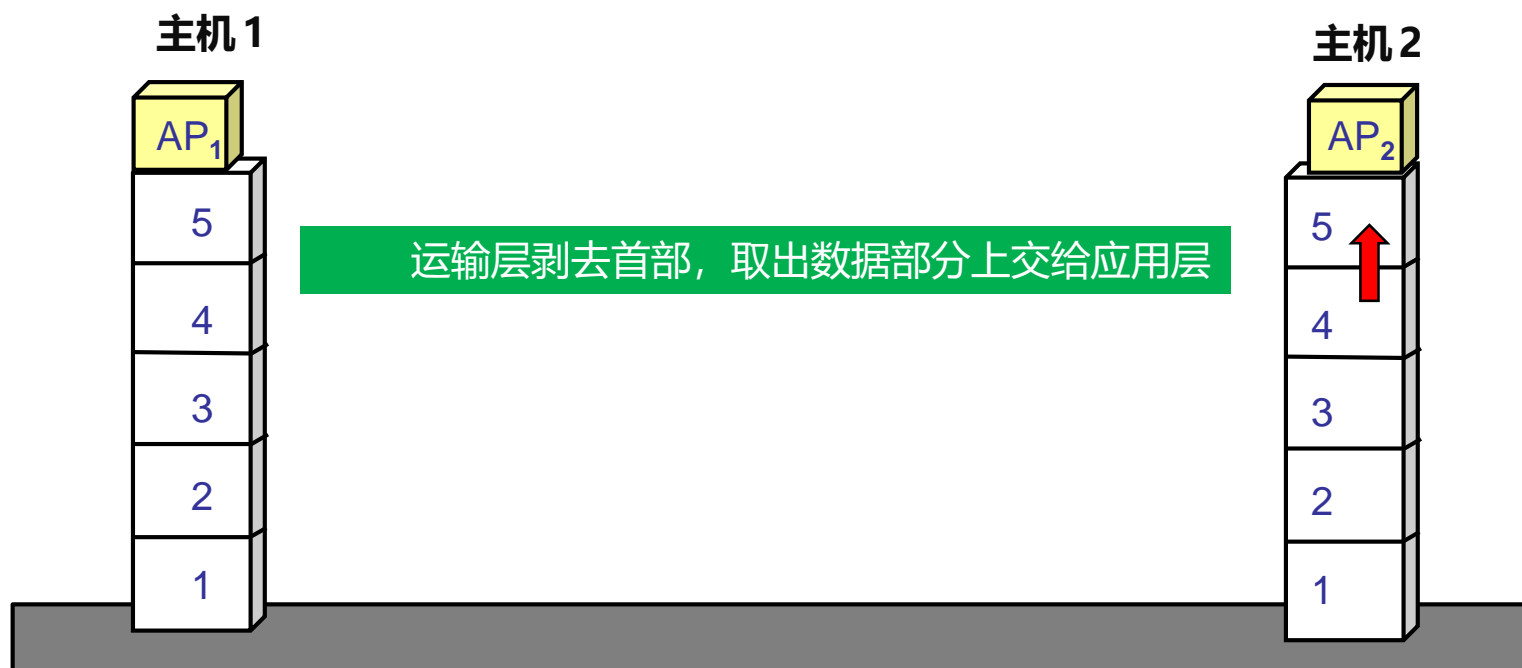


# 主机1向主机2发送数据



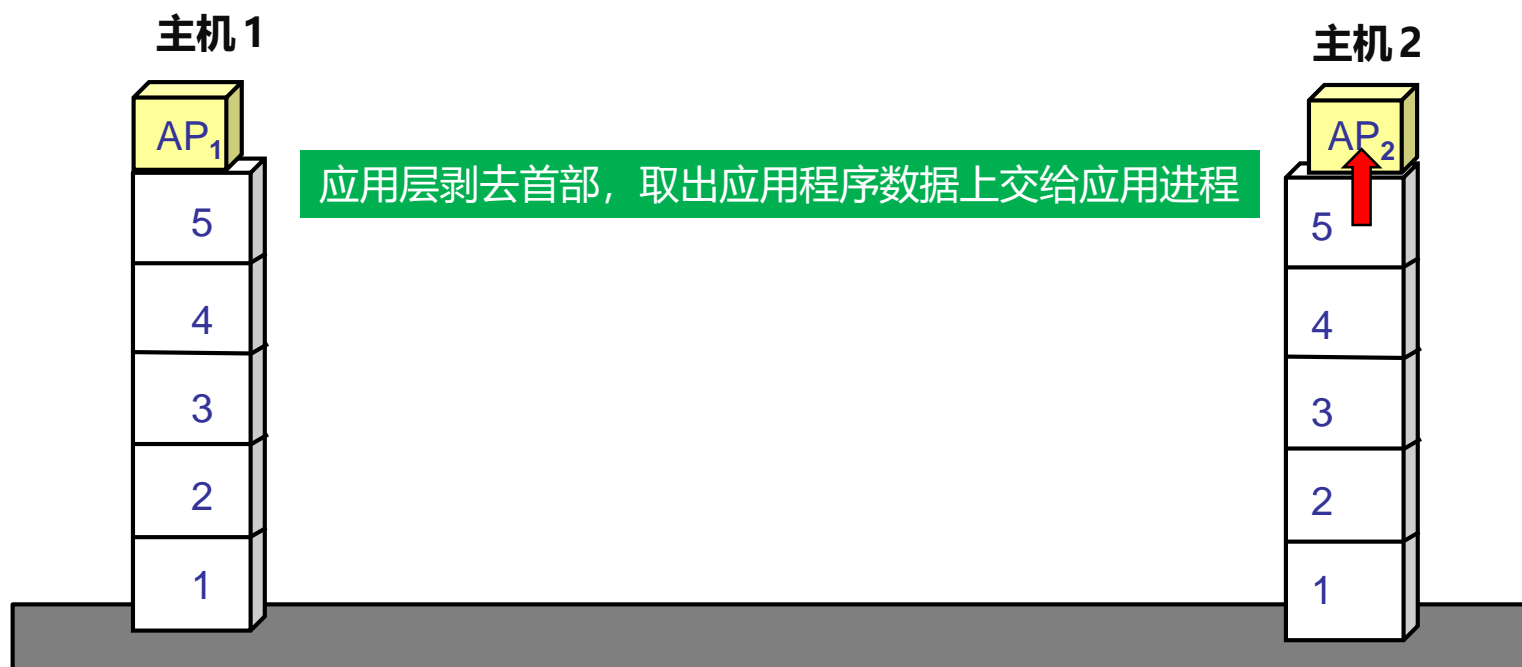


# 主机1向主机2发送数据



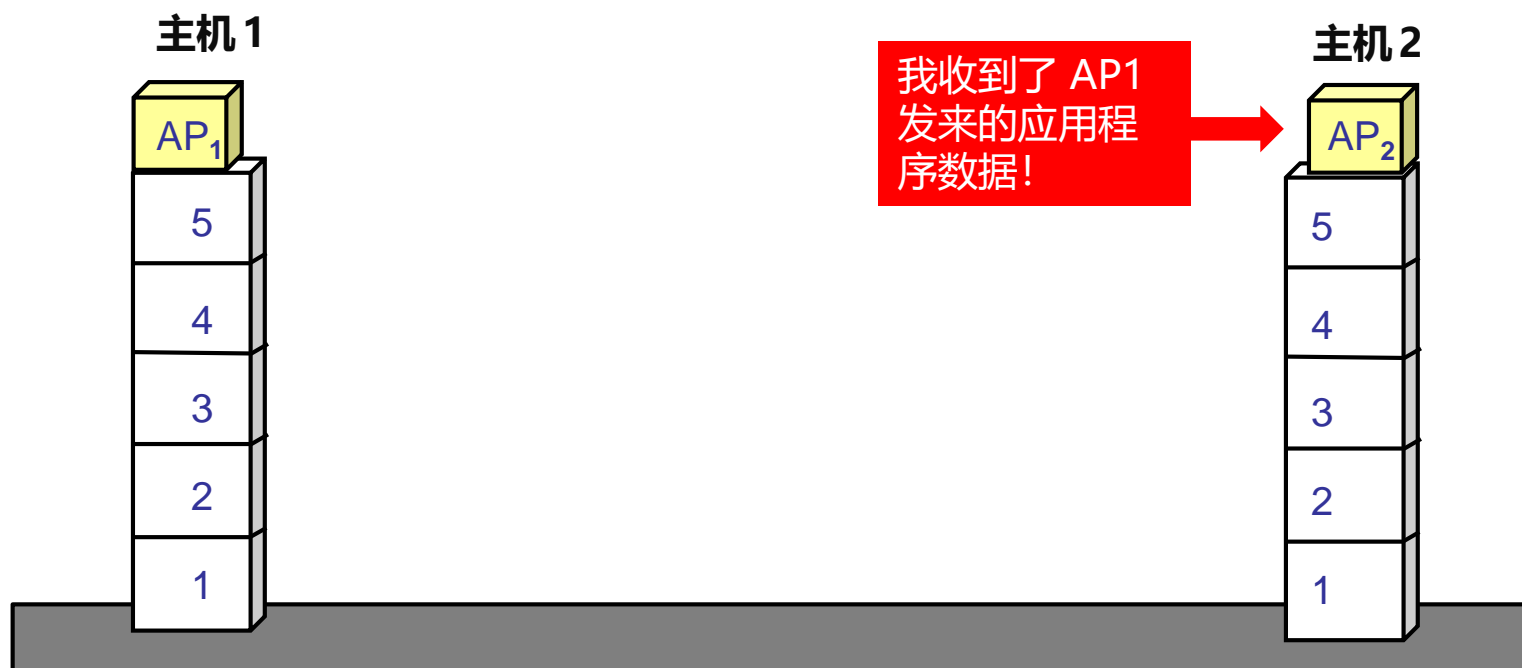


# 主机1向主机2发送数据





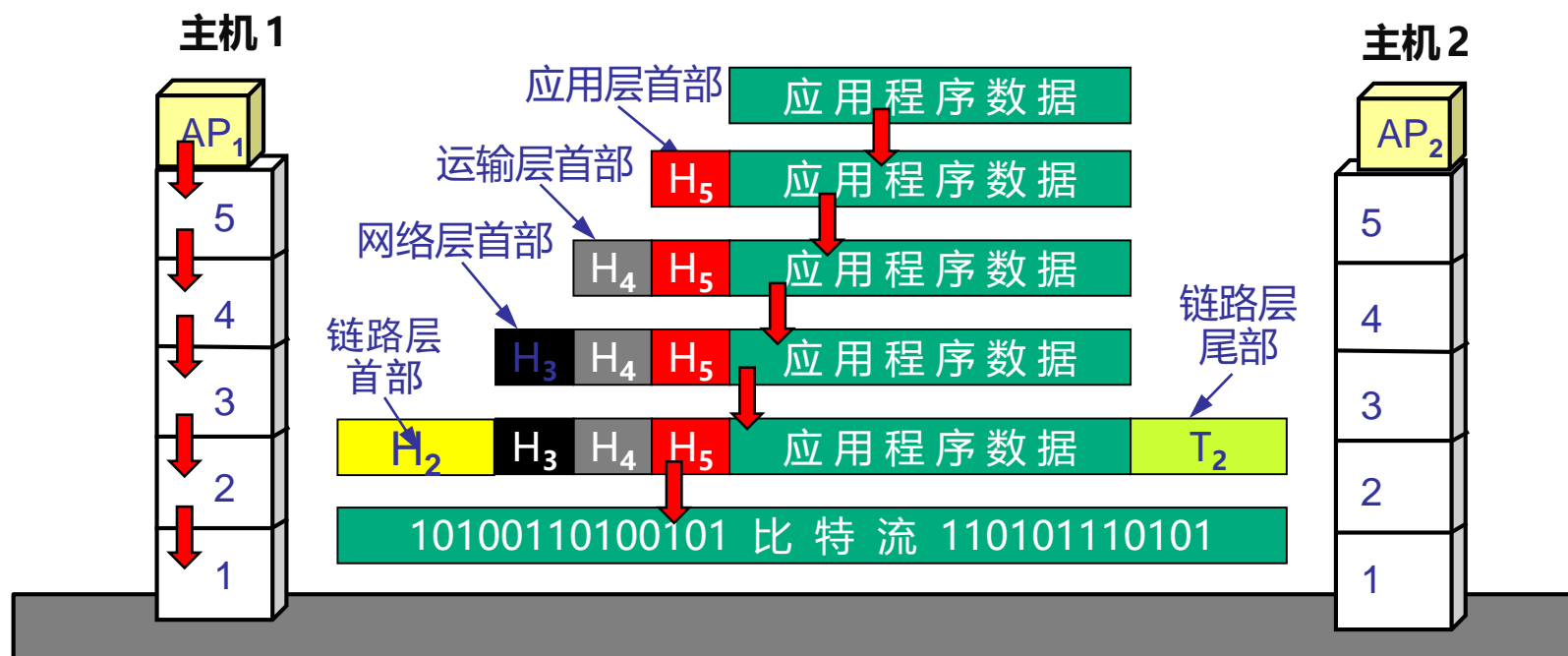
# 主机1向主机2发送数据





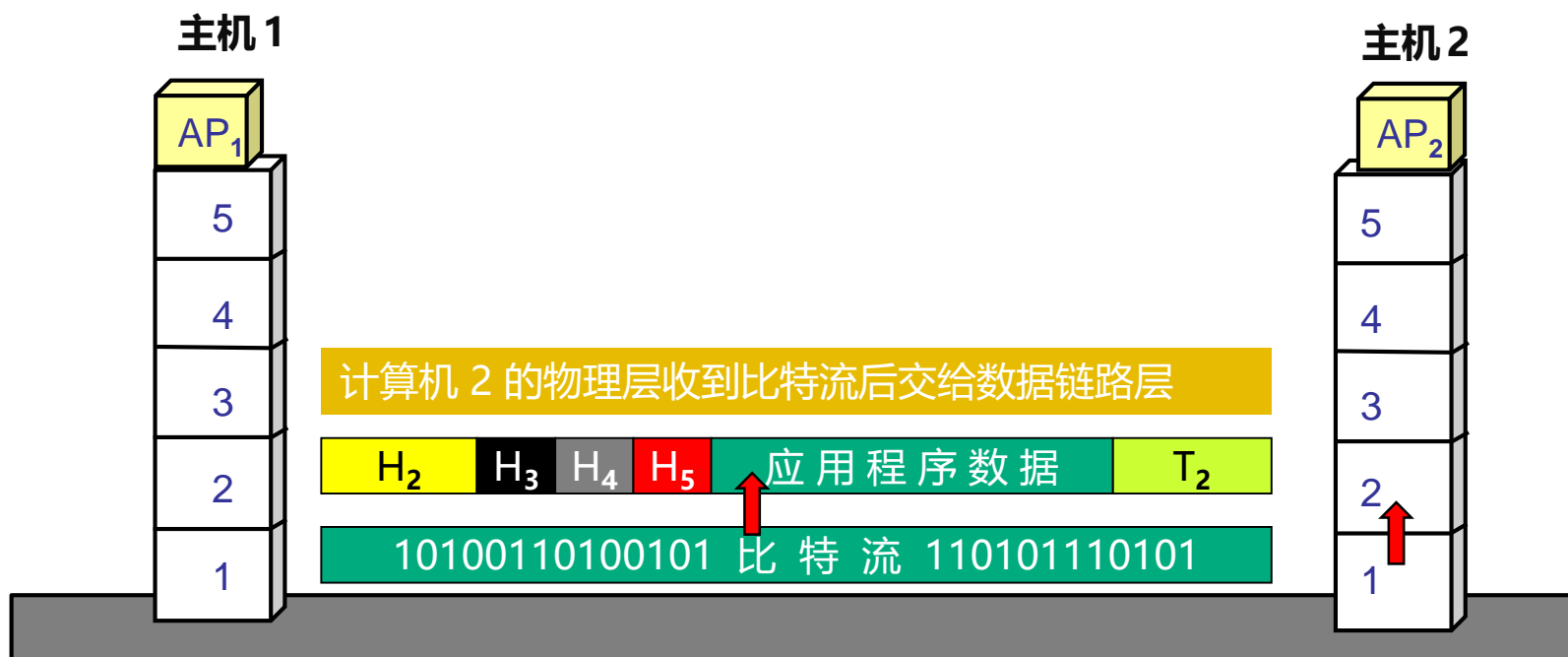


# 主机1向主机2发送数据



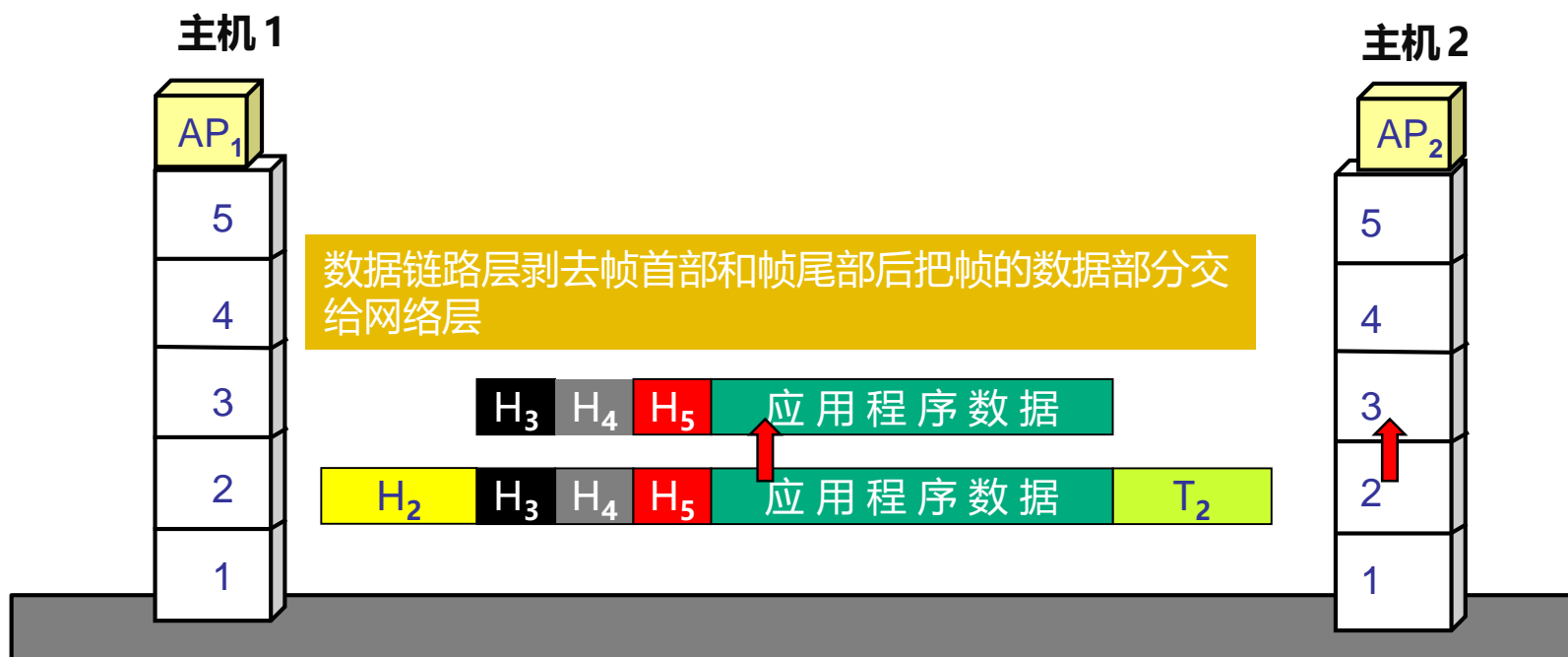


# 主机1向主机2发送数据



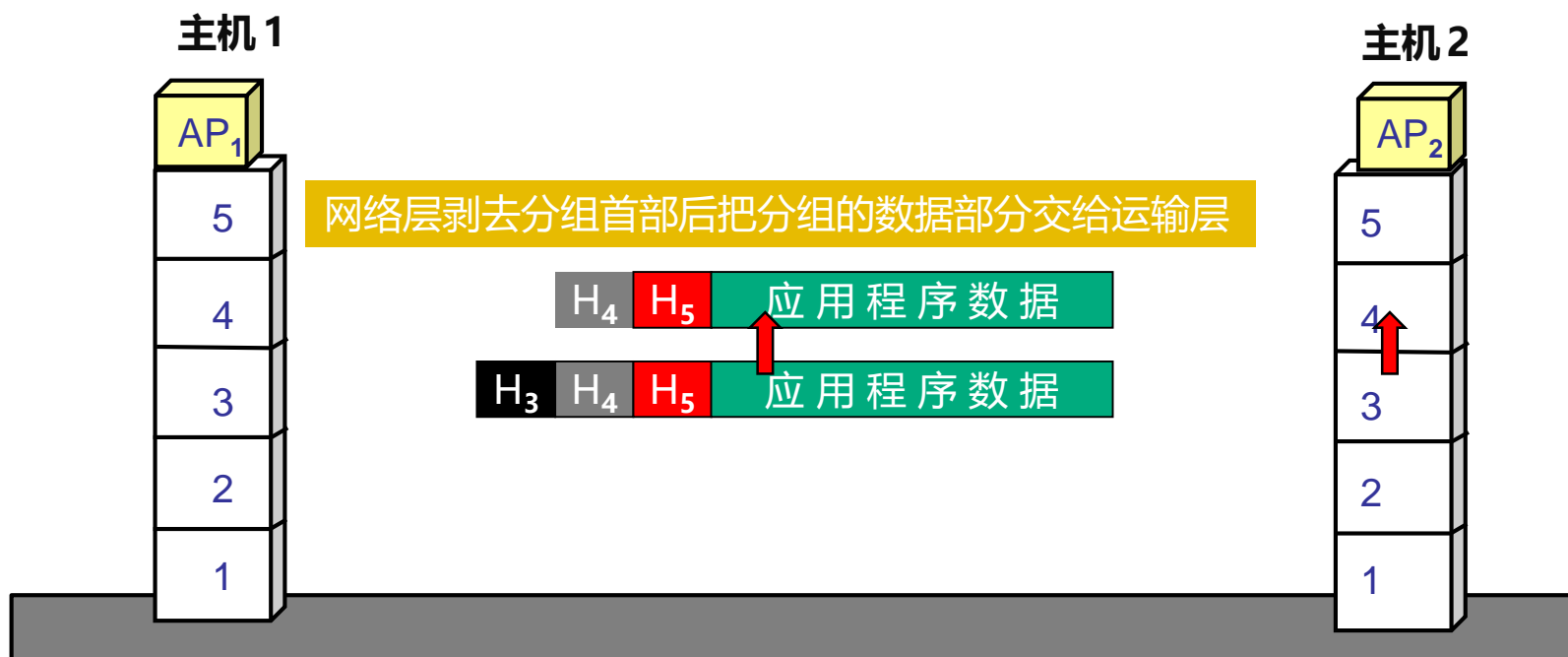


# 主机1向主机2发送数据



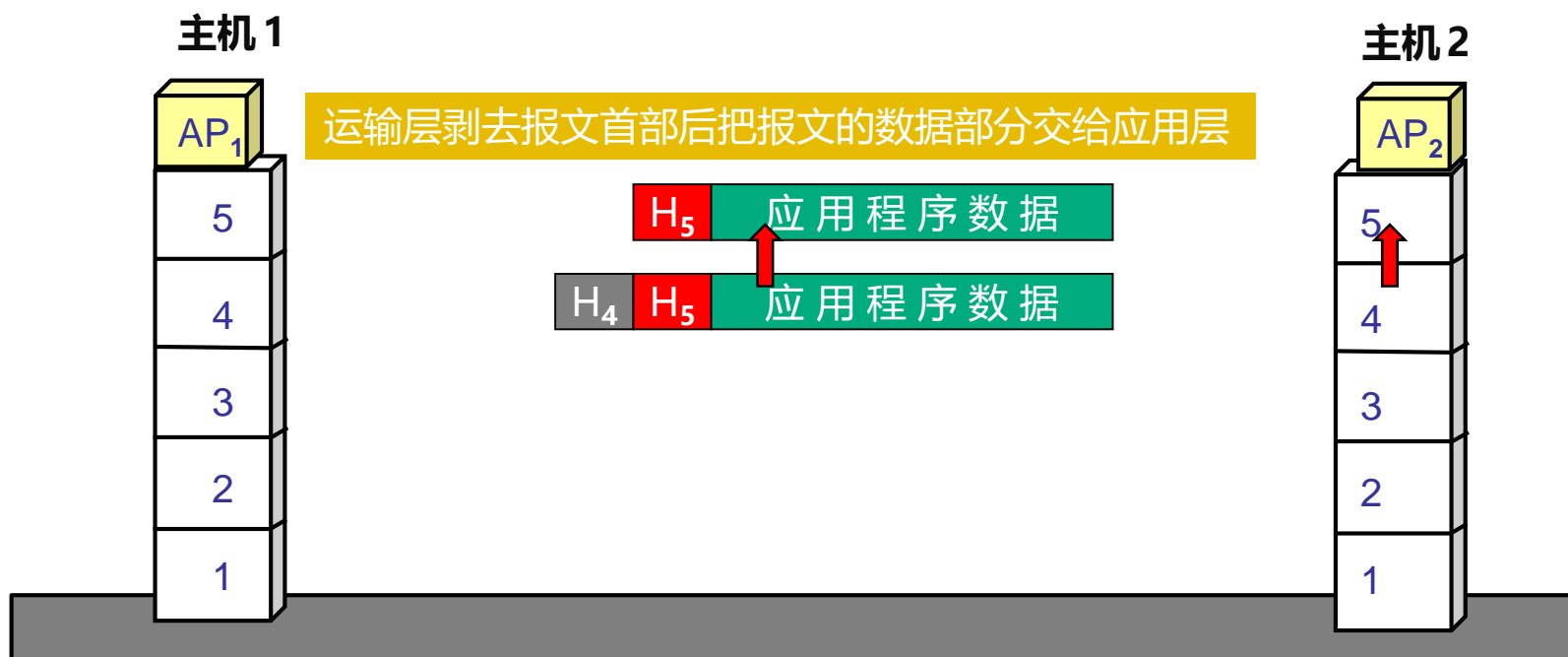


# 主机1向主机2发送数据



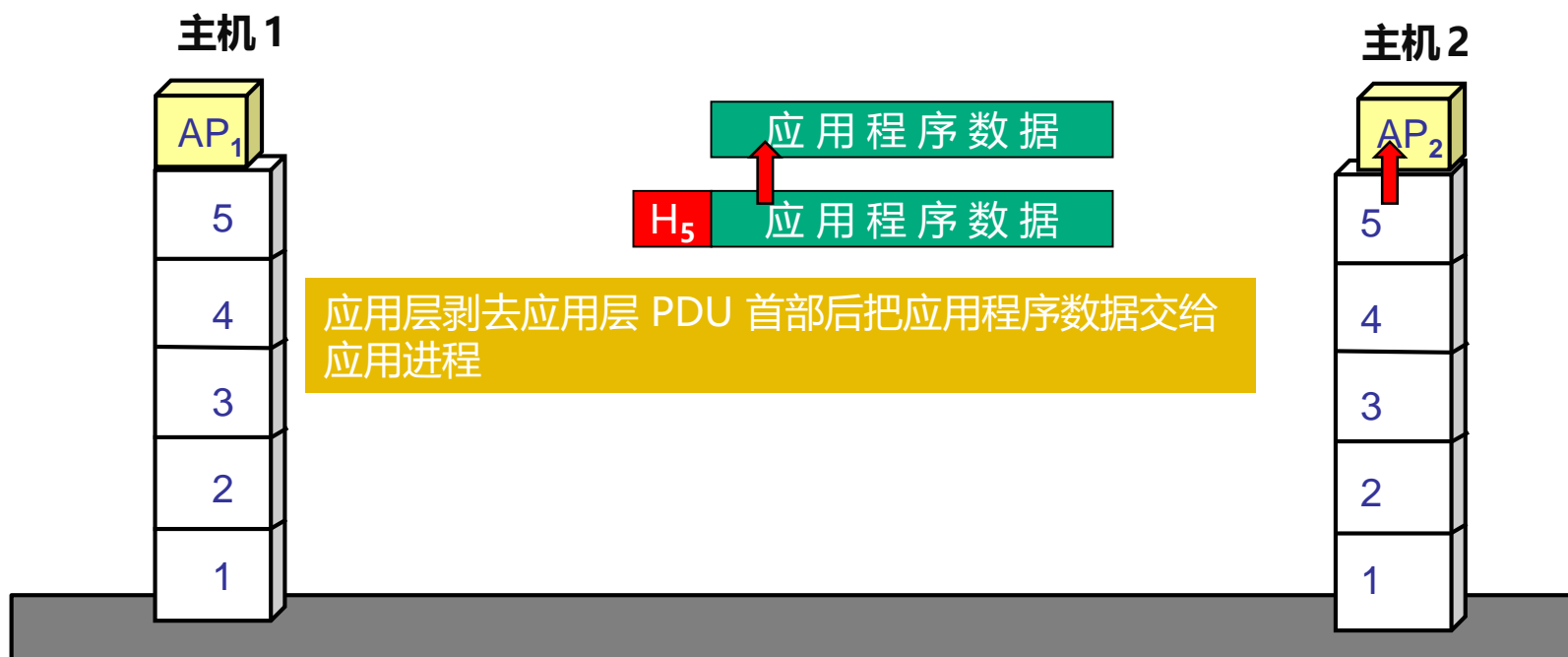


# 主机1向主机2发送数据



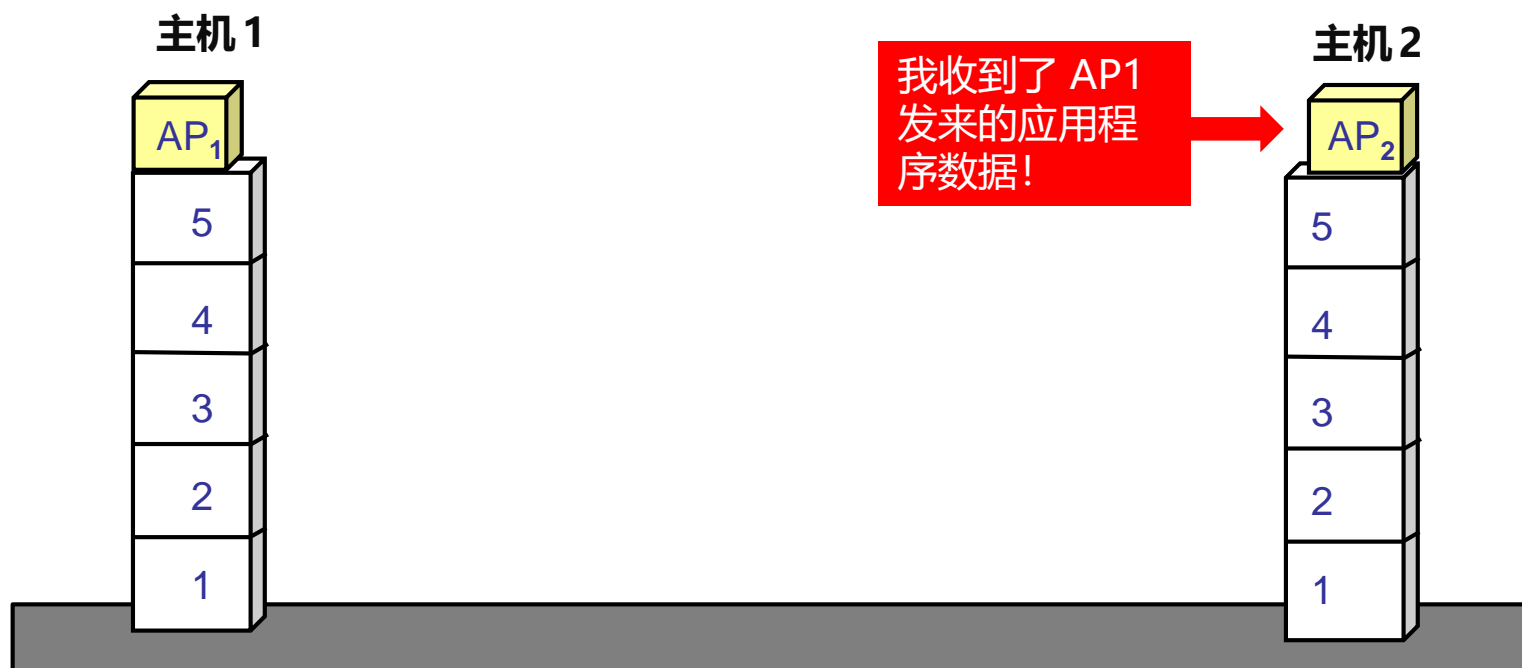


# 主机1向主机2发送数据





# 主机1向主机2发送数据





## 1.6.4 实体、协议和服务

**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**进行通信的规则的组合。

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。





## 实体、协议和服务 (续)

本层的服务用户只能看见服务而无法看见下面的协议。

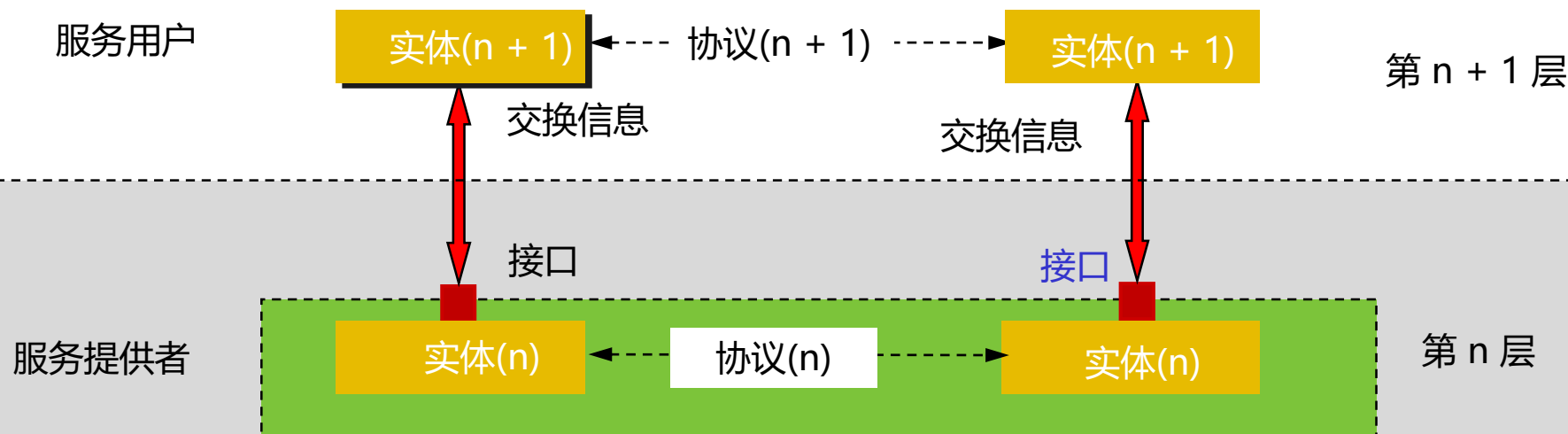
下面的协议对上面的服务用户是透明的。

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。

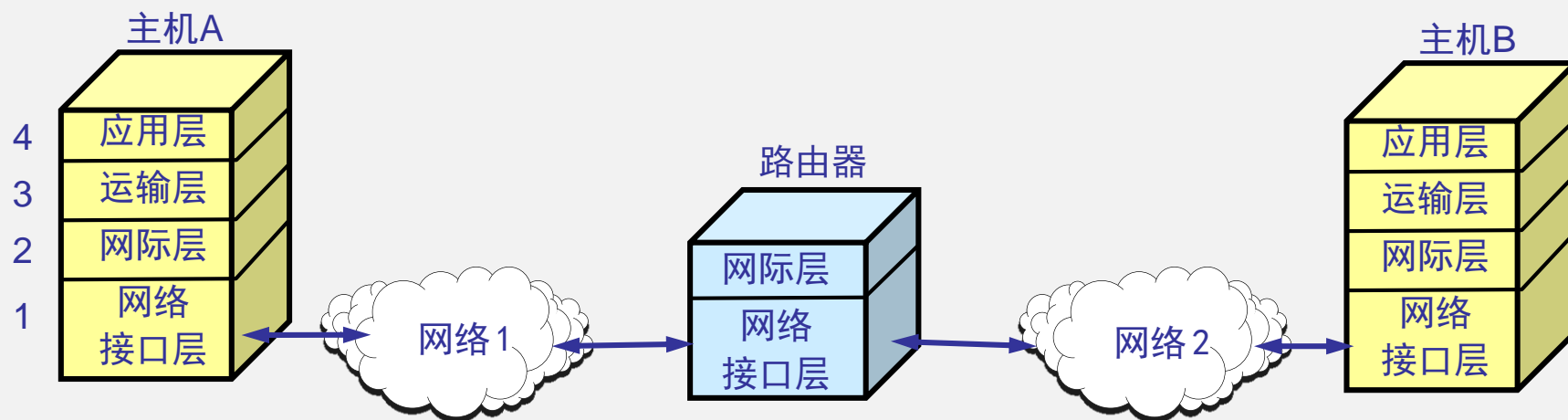


# 实体、协议、服务和访问点 (续)





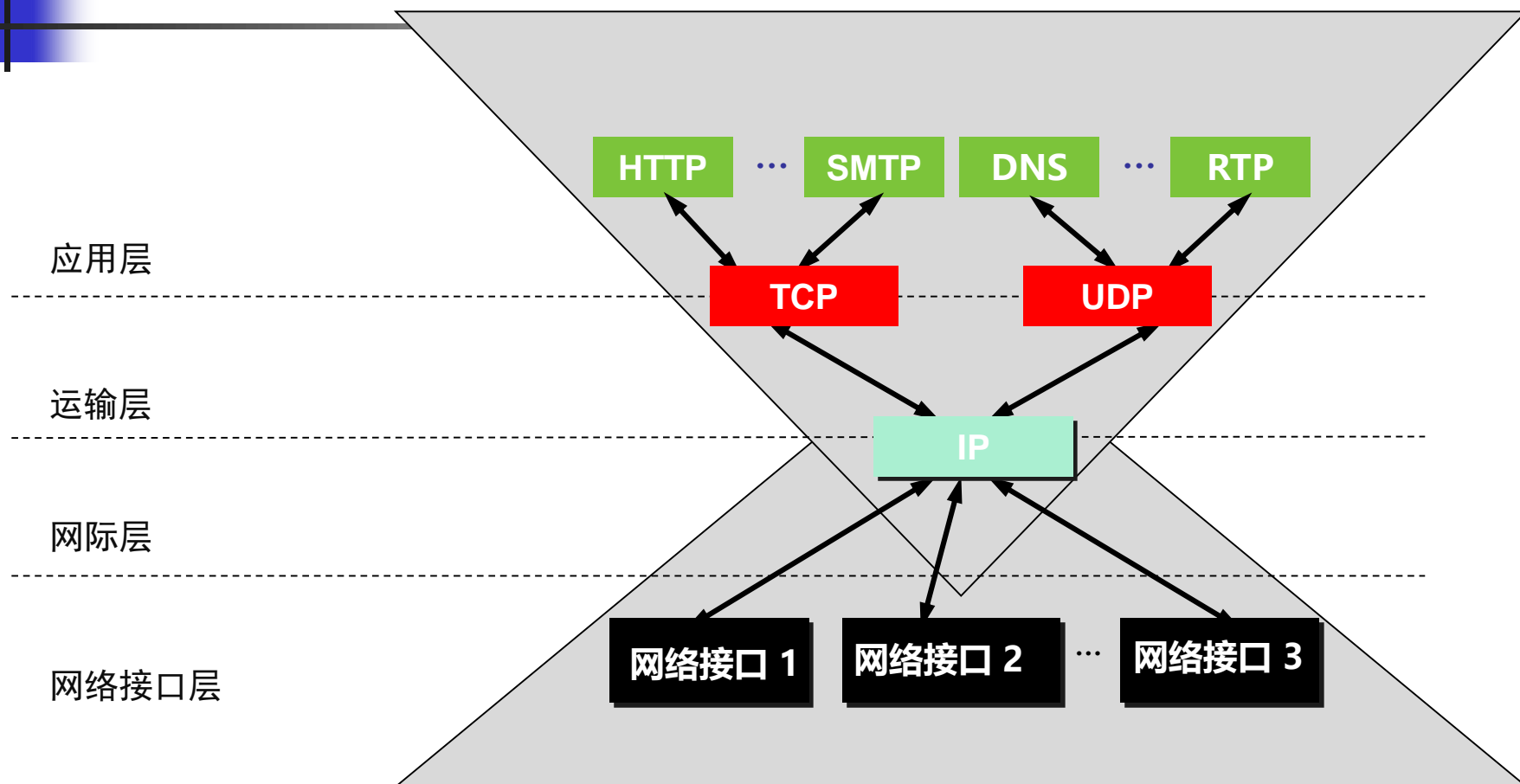
## 1.6.5 TCP/IP的体系结构



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。



## 1.6.5 TCP/IP的体系结构





谢谢！