

# 第一章 概论

1.1 计算机网络发展

1.2 计算机网络功能、组成及拓扑结构

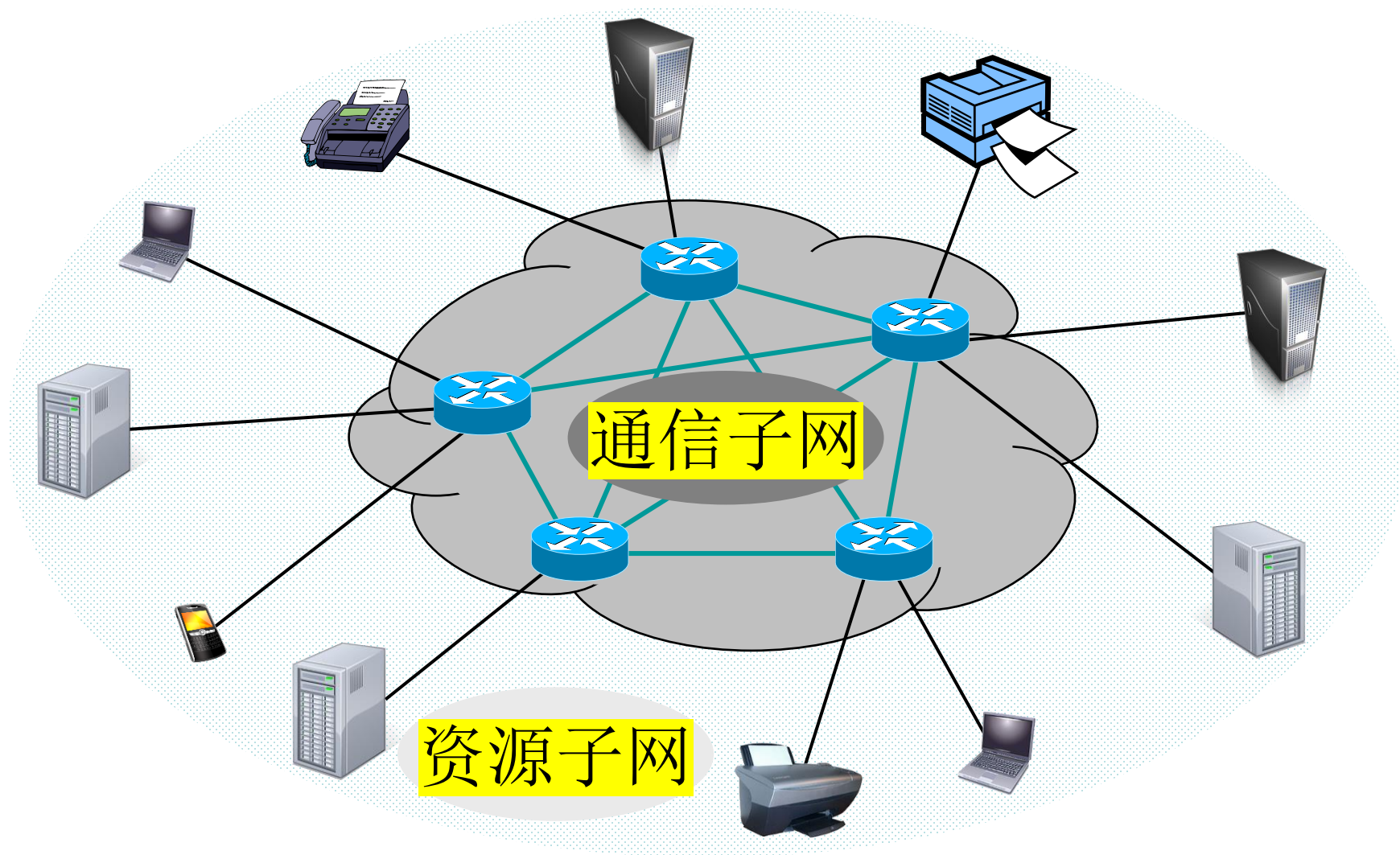
1.3 计算机网络体系结构

1.4 TCP/IP网络体系结构

## 1.2.2 计算机网络的组成

- 网络：若干结点+链路组成
  - 结点(node)：通讯控制机
  - 链路(link)：连接结点的线路
- 主机(host)：连接在网络上的计算机
- 计算机网络按结构功能划分成两部分：
  - 资源子网(边缘部分)：负责信息处理，向网络用户提供各种网络资源与服务，如计算机系统、外设、软件资源等
  - 通信子网(核心部分)：负责信息传递，完成数据传输及转发，如节点转发设备、通信设备等

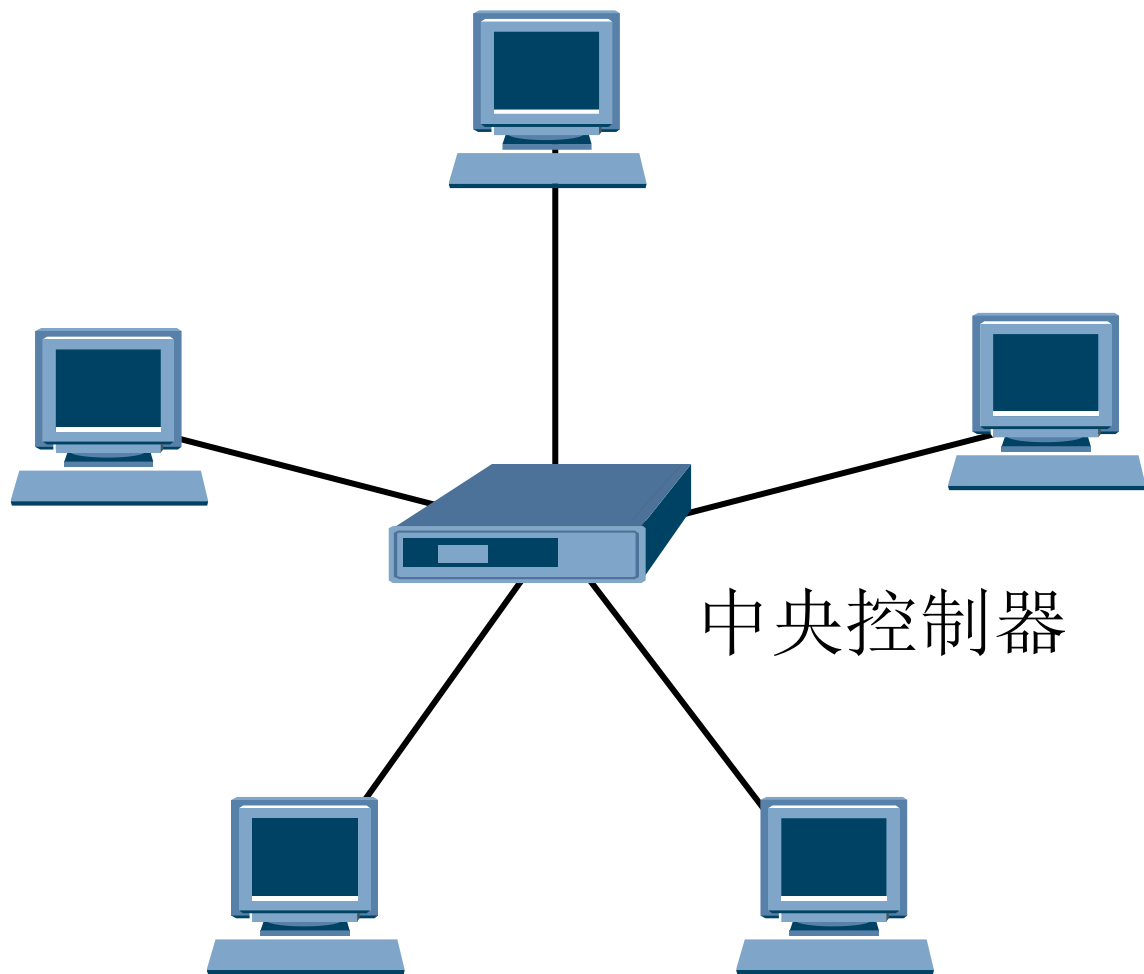
# 通讯子网和资源子网



## 1.2.3 计算机网络的拓扑结构

- 星状拓扑(Star Topology)
- 环状拓扑(Ring Topology)
- 总线型拓扑(Bus Topology)
- 网状拓扑(Mesh Topology)
- 树状拓扑(Tree Topology)
- 混合型拓扑(Hybrid Topology)

# 星状拓扑(Star Topology)



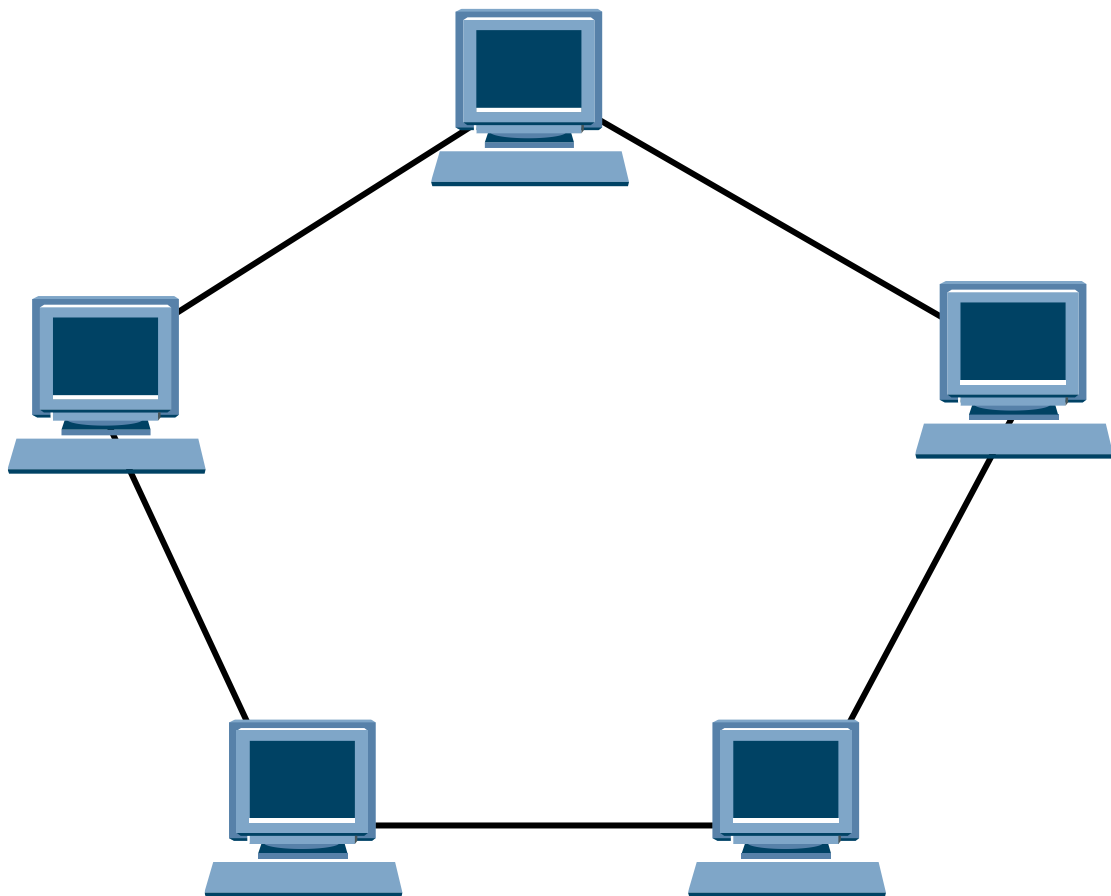
优点:

- 拓扑结构简单
- 较好的健壮性
- 便于管理、安全控制，故障隔离变得很容易

缺点:

- 中央控制器是整个网络可靠性的瓶颈
- 单点失效(意思是中央控制器一坏就全坏了)

# 环状拓扑(Ring Topology)



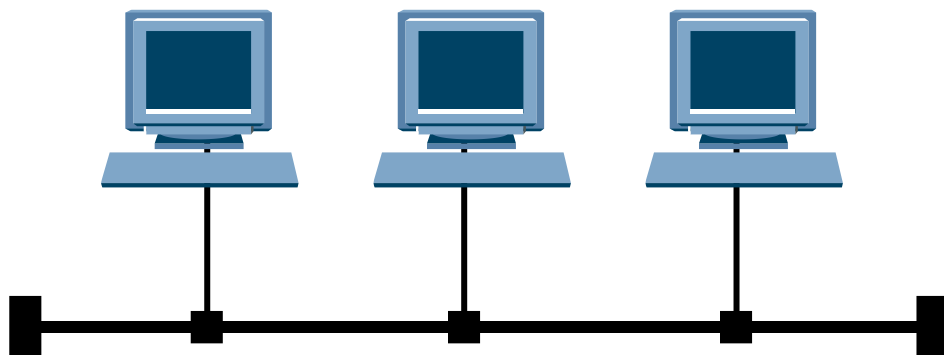
优点:

- 易安装
- 维护管理方便

缺点:

- 传输延迟大

# 总线型拓扑(Bus Topology)



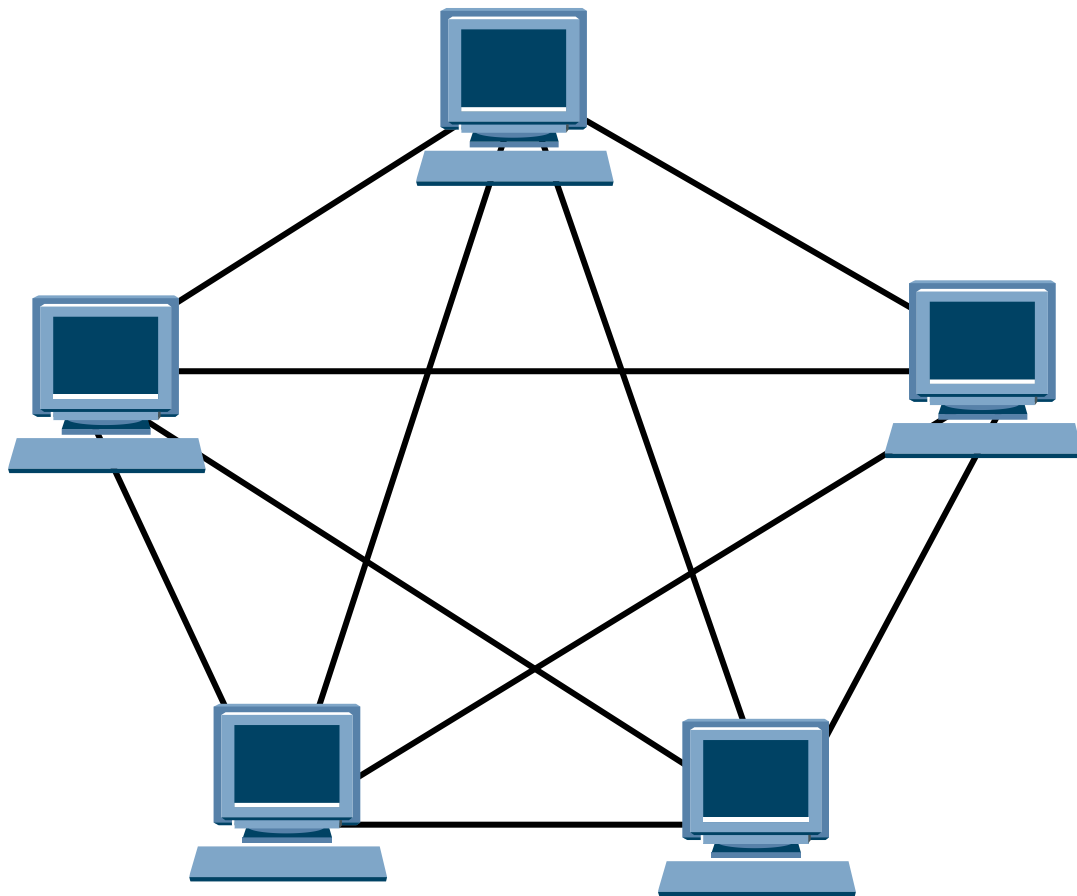
优点:

- 不存在路由
- 易安装

缺点:

- 总线长度有限, 设备数受限
- 故障隔离问题

# 网状拓扑-Mesh Topology



优点:

- 避免拥塞问题
- 较好的健壮性
- 好的安全性
- 便于管理

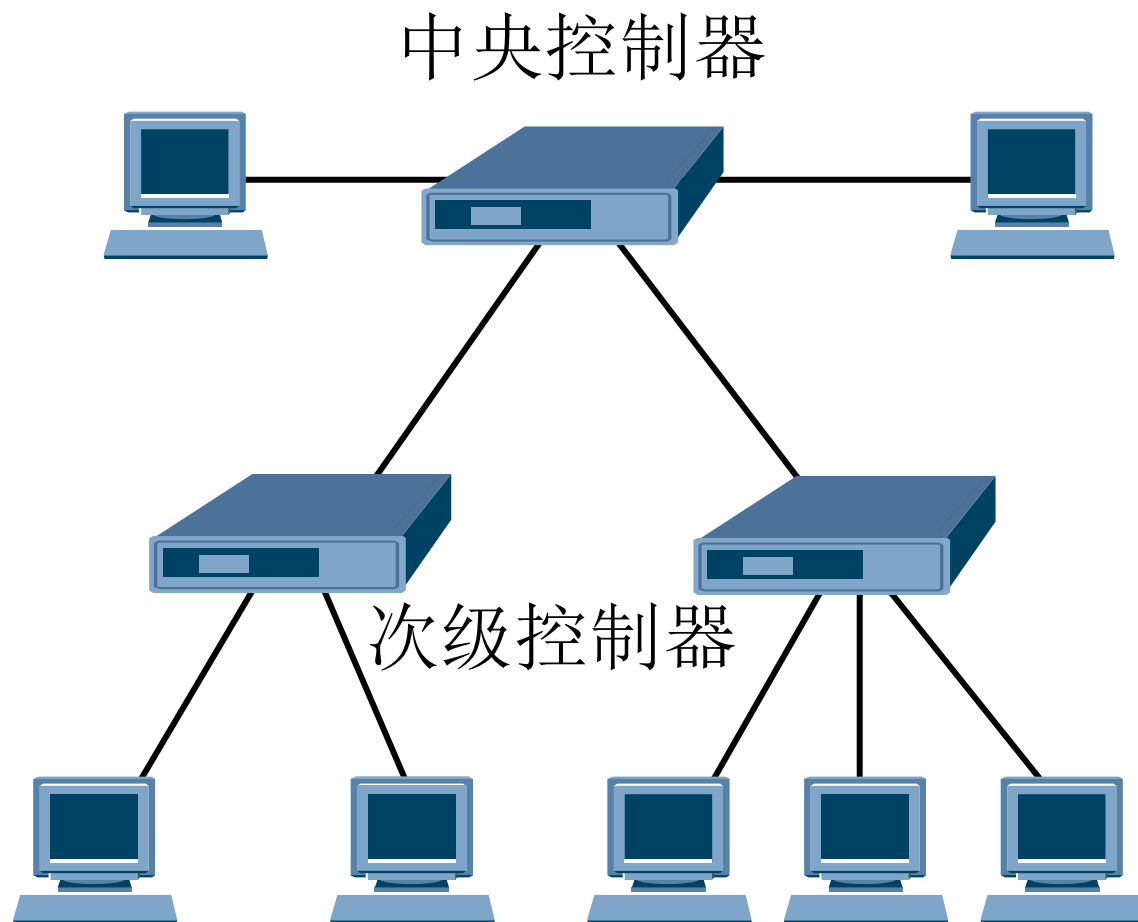
缺点:

- 费用高(使用线路太多)

如果有n个节点，使用网状拓扑，则需要 $\frac{n(n-1)}{2}$ 条线路



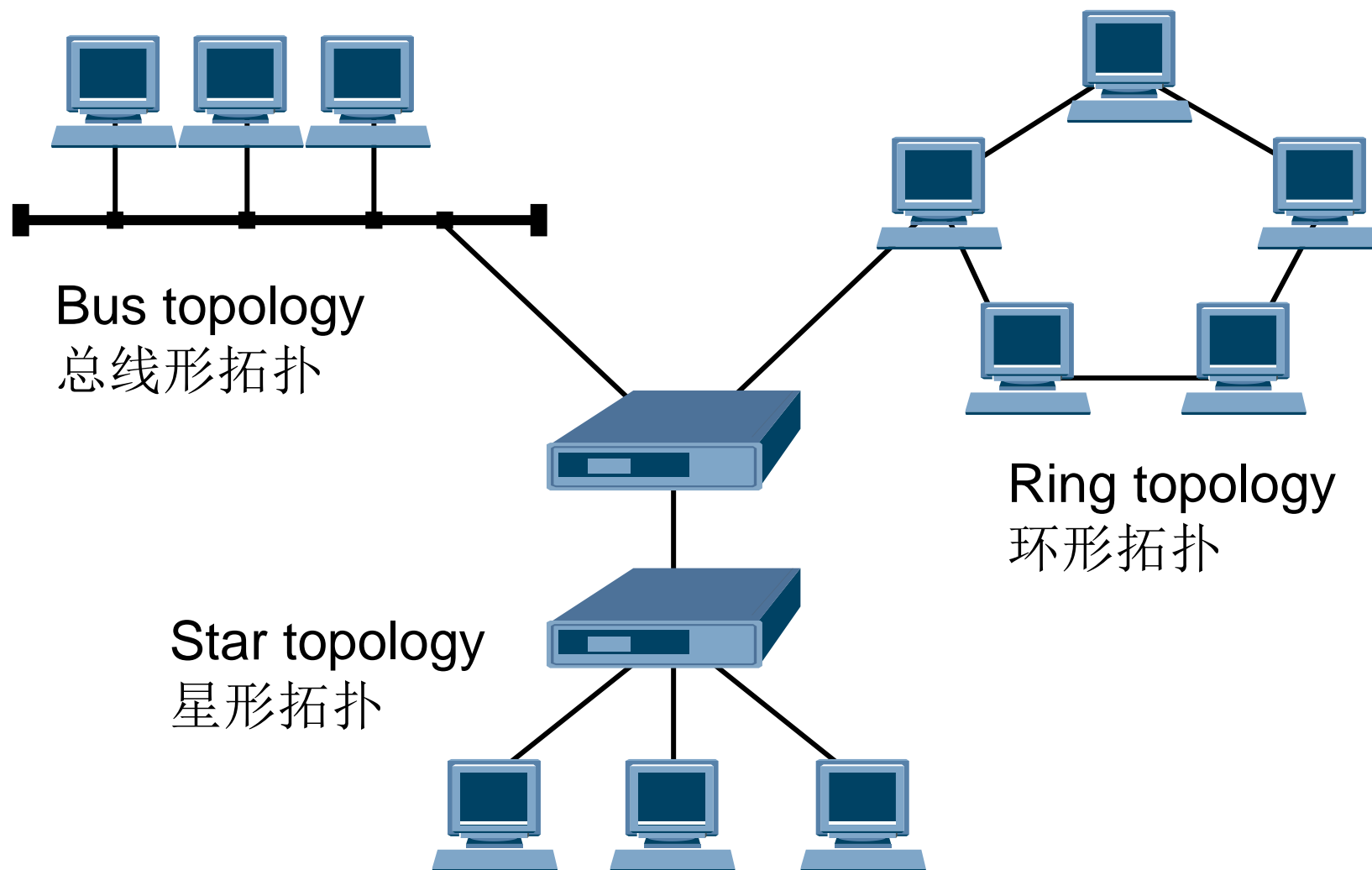
# 树状拓扑-Tree Topology



优点:

- 扩展了网络距离
- 允许网络隔离不同计算机的通信

# 混合型拓扑-Hybrid Topology

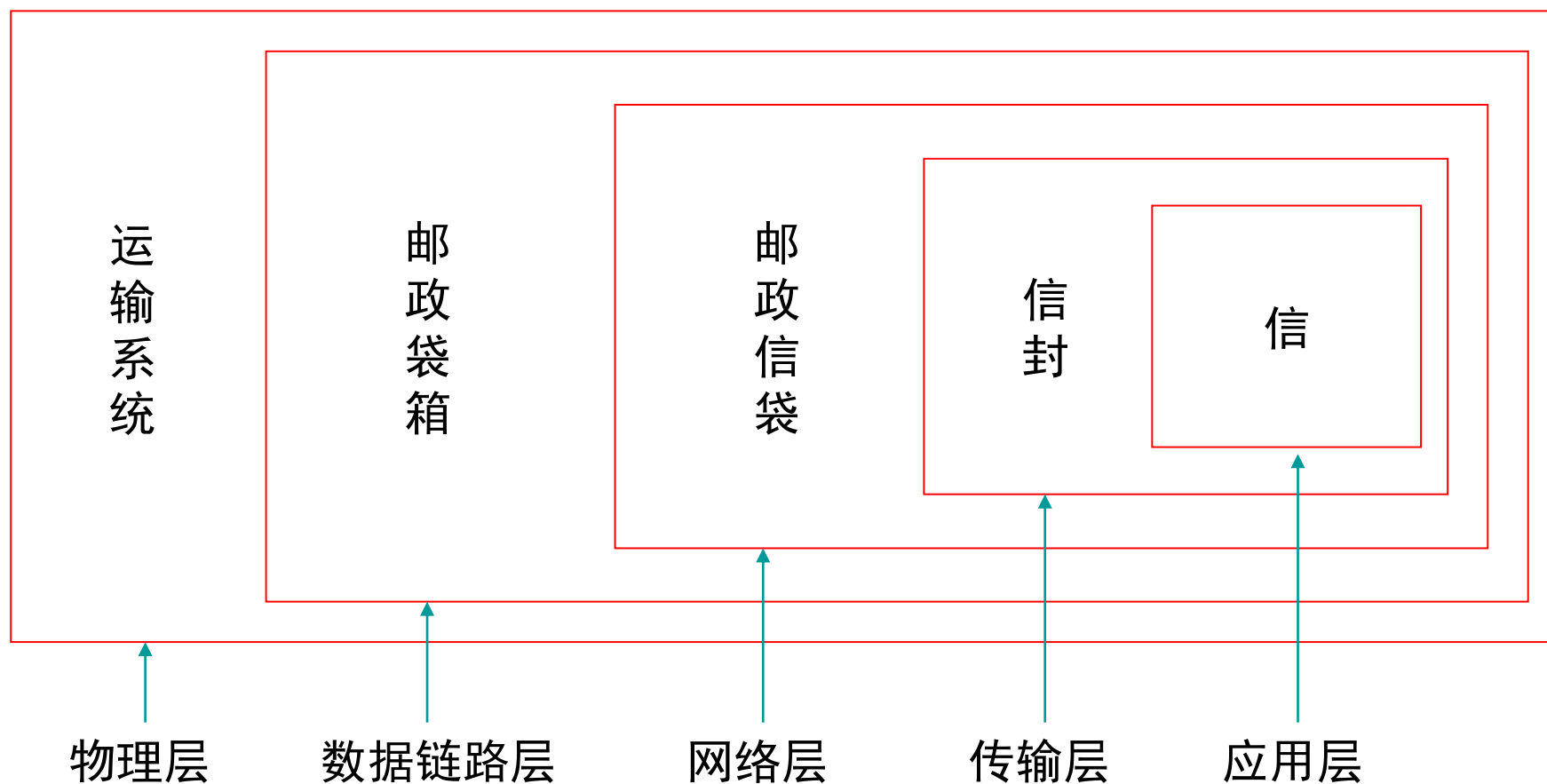


# 1.3 计算机网络体系结构

- 计算机网络是个复杂的系统，在计算机网络的设计和实施中需要进行分层处理，每层完成特定的功能，各层协调起来实现整个网络系统。
- 为什么要分层？
  - 设想一个简单的情况，两台连接在网络上的计算机要传送一个文件。有哪些事情需要做？

- 1.发起通信的计算机必须将数据通信的通路进行激活。
- 2.要告诉网络识别接收数据的计算机的方式。
- 3.发起通信的计算机必须查明对方计算机是否已开机，并且与网络连接正常。
- 4.发起通信的计算机中的应用程序必须弄清楚，在对方计算机中的对应的程序是否已经做好接收和存储文件的准备工作。
- 5.如果计算机的文件格式不兼容，则至少其中的一个计算机应完成格式转换功能。
- 6.对出现的各种差错和意外事故，应有可靠的措施保证对方计算机最终能够收到正确的文件。

# 某人给朋友写一封信



# 1.3.1 网络协议和分层

## ■ 什么是网络协议？

- 通信双方必须遵守的规则、标准、约定。

## ■ 网络协议三要素：

- 语法——数据与控制信息的结构或格式，如：数据格式、信号电平
- 语义——需要发出何种控制信息、完成何种动作、如何应答
- 时序（同步）——事件实现顺序的信息说明，包括信息同步，速度匹配和顺序。

# 网络协议分层的优点

- 各层之间独立
- 灵活性好
- 模块化
- 易于实现和维护
- 有利于标准化

# 网络体系结构

- 网络体系结构：计算机网络的各个层次及其相关协议的集合
- 网络体系结构是抽象的、对功能的精确描述
- 功能的实现是具体的，是真正运行的硬件和软件



# 分层的原则和目标

## ■ 主要原则

- 不同等级的抽象建立一层
- 功能相近的分在一层
- 每层的功能明确
- 边界信息要尽量少
- 层次数量应适当

## ■ 目标：标准、对称、易于实现

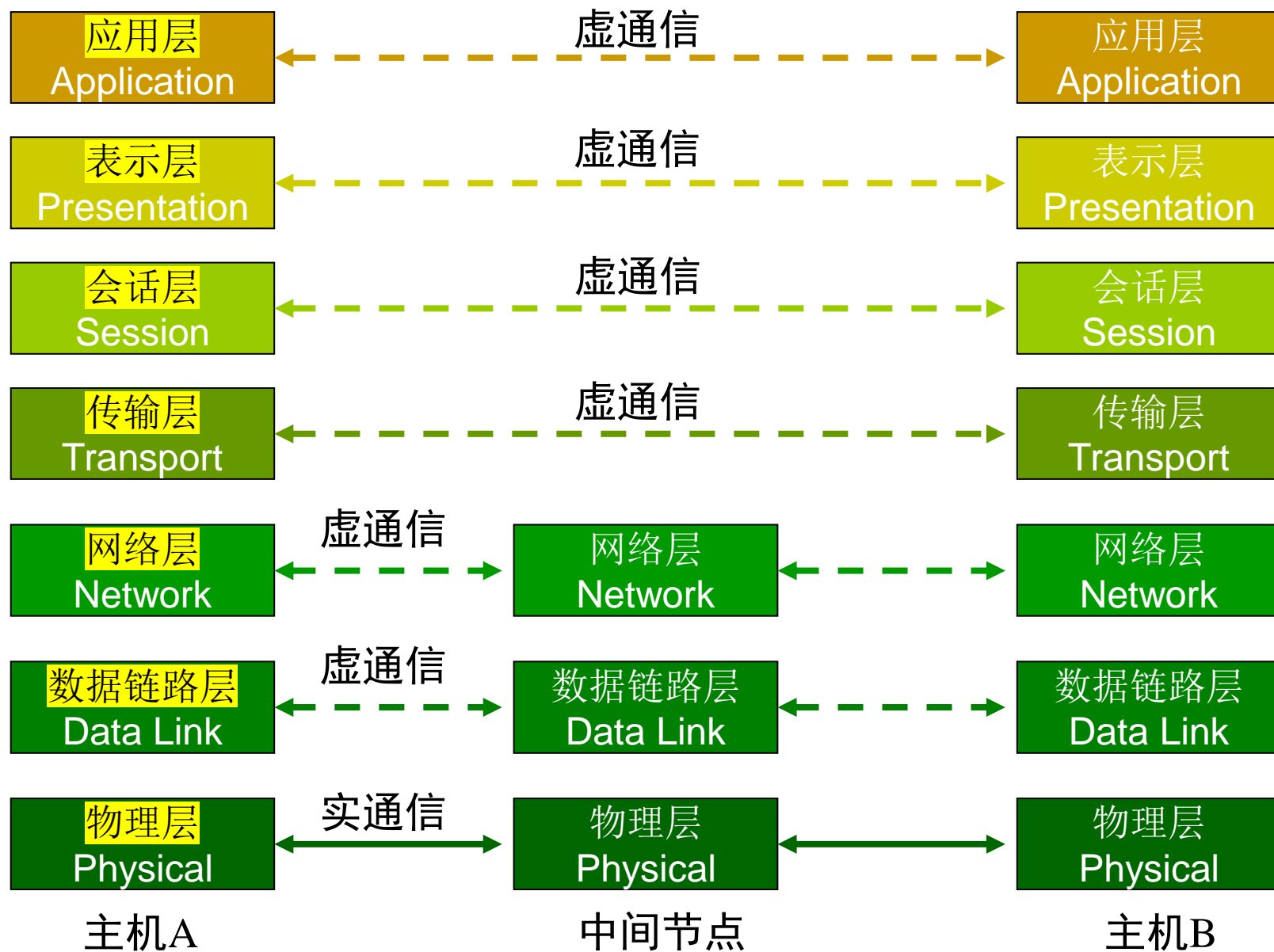
## ■ 第一个网络体系结构：

- 1974年，IBM的SNA (System Network Architecture)

## 1.3.2 ISO OSI参考模型

- 国际标准化组织ISO于1984年制定了开放系统互连参考模型OSI。
  - ISO: International Organization for Standards, 源于希腊语“ISOS”，平等之意。
- 模型的作用：解决网络之间不能兼容和不能通信的问题。
- 模型的内容：分7个层次，每层解决一个问题，共同描述计算机通信的过程。

# OSI参考模型



# 各层功能概述

7	应用层	触及到应用程序的网络业务	做什么
6	表示层	数据表达	对方看起来像什么
5	会话层	主机间通信	该谁讲话，从哪讲起
4	传输层	端到端的连接可靠性	对方在哪
3	网络层	地址和最佳路径	走那条路可以到达
2	数据链路层	访问介质	每一步该怎么走
1	物理层	二进制传输(导线、连接器、电压速率等)	怎样利用物理媒体

# 物理层(Physical Layer)

- 负责如何将计算机连接到通信媒体上
- 数据传输的单位是比特(Bit)
- 规定了如下4个特性：
  - 机械特性：定义连接头、机械尺寸、通信媒体等
  - 电气特性：信号电平、编码、数据传输率
  - 功能特性：信号之间的关系、数据线、控制线等
  - 规程特性：数据交换的控制步骤

# 数据链路层(Data-Link Layer)

- 数据链路层处理相邻节点的数据传输
- 传输的数据单元是帧(Frame)
- 功能：
  - 线路规程：分帧、排序
  - 差错控制：为上层提供可靠链路
  - 流量控制：处理输入数据的速率
  - 链路管理：链路的建立，维持，拆除

# 网络层(Network Layer)

- 任务:
  - 路由选择
  - 阻塞控制
  - 网际互连
- 网络层处理任意节点的数据传输,传输的信息单位是分组(Packet)

# 传输层(Transport Layer)

- 端到端的通信，把数据可靠的从一端用户进程送到另一端用户进程。任务：
  - 端到端的流量控制
  - 端到端的差错控制
- 传输的信息单元是报文(Message)



# 会话层(Session Layer)

- 两个计算机上的用户进程建立连接，双方互相确认身份，协商会话连接的细节。

# 表示层(Presentation Layer)

- 解决用户信息的语法问题，对用户数据进行翻译、编码和交换。
- 典型例子：用一种标准方法对数据进行编码。

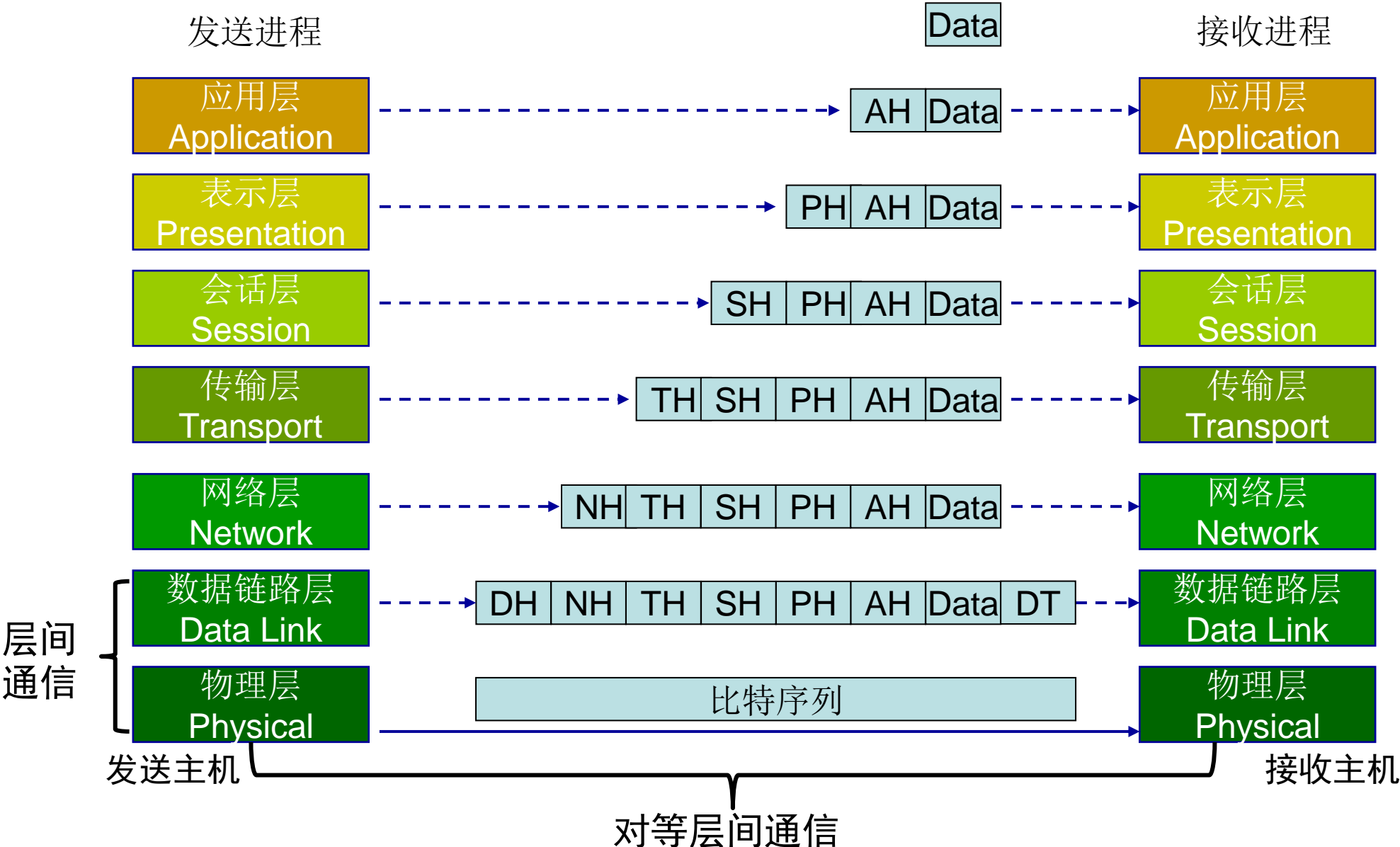
# 应用层(Application Layer)

- 处理用户的数据和信息，完成用户所希望的实际任务。

# 1.3.3 层间通信与对等层间通信

- 层间通信(垂直): 同一节点上相邻层次的通信
- 对等层间通信(水平): 不同的网络节点上对等层间的通信
- 实通信: 层间通信(垂直)和物理层之间的通信
- 虚通信: 除物理层之外, 对等层间的通信

# OSI模型中的数据传输过程



# 实体间通信与服务

- 在计算机网络中，每层的功能由该层的实体来实现
- 下层实体为上层实体提供服务
- 上层通过下层的服服务完成自己的功能

# 实体、协议与服务

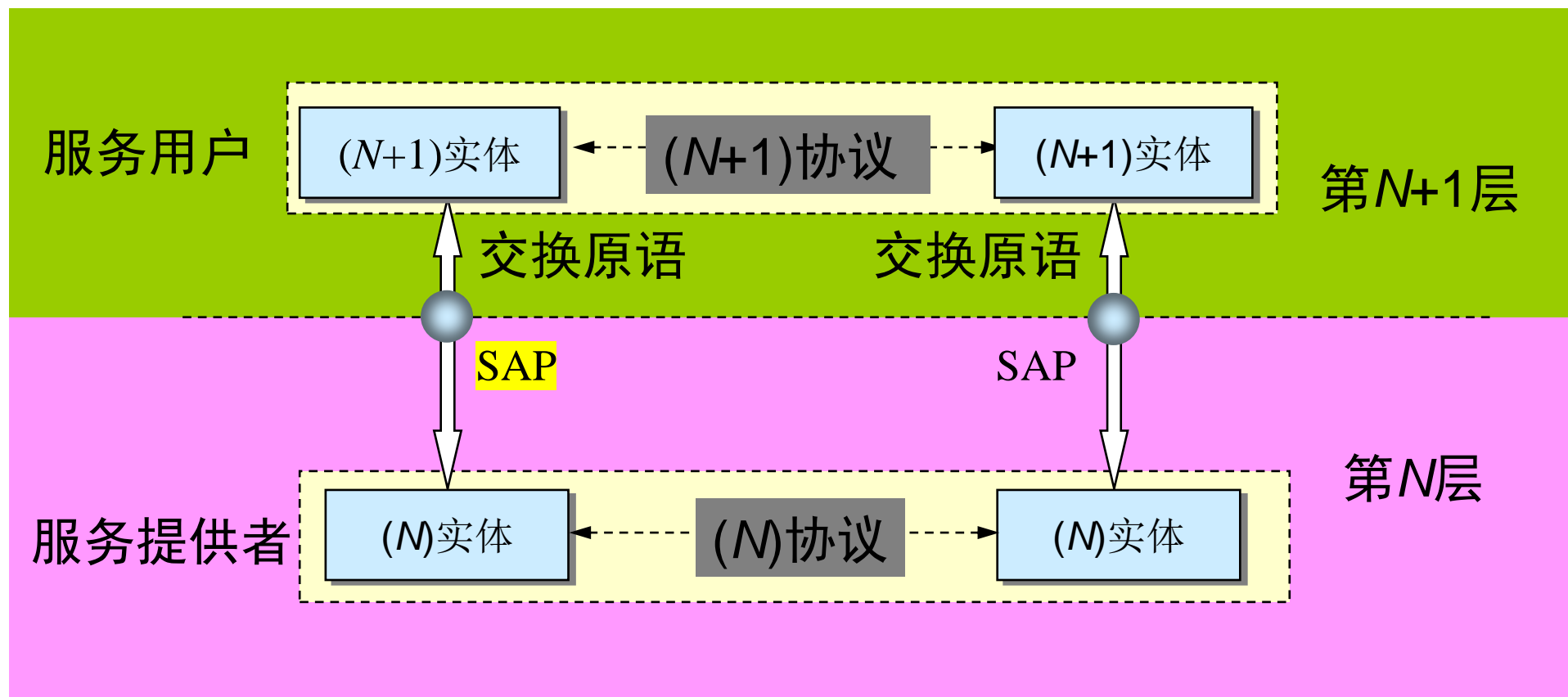
- **实体(entity)** 表示任何可发送或接收信息的硬件或软件进程。
- 协议是控制两个对等实体进行通信的规则的组合。
- 在协议的控制下，两个对等实体间的通信使得本层能够向上一层提供服务。
- 要实现本层协议，还需要使用下层所提供的服务。

# 透明性

- 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。（看不见的）
- 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。



# $(N)$ 协议水平, $(N)$ 服务垂直



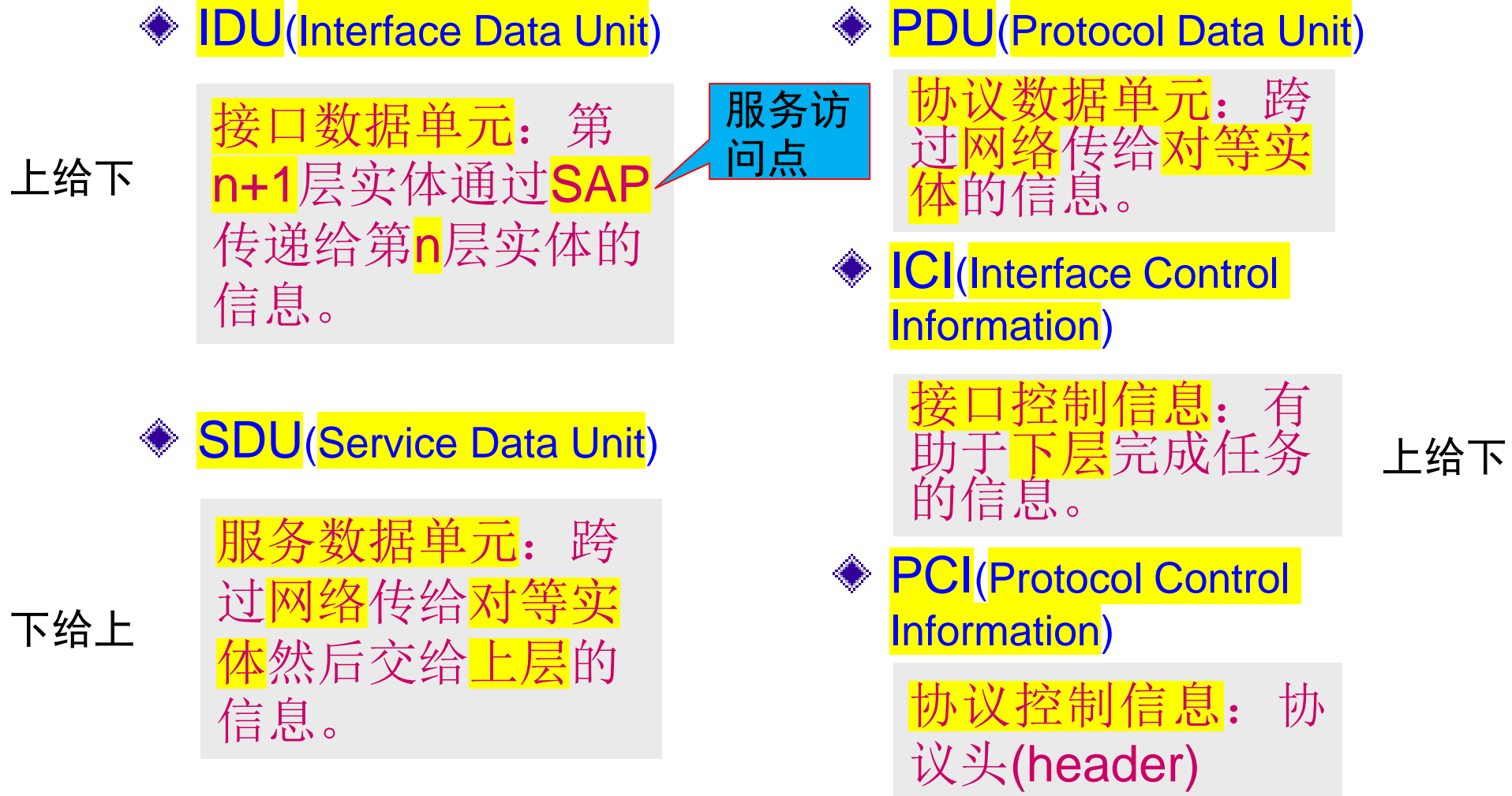
## 1.3.4 服务与数据单元

- 数据在网络中各节点内是沿层次传送的。
- 每层为其上面各层提供专门的通信服务，即每层完成的功能是其上各层工作的基础。
- $N$ 层向 $N+1$ 层提供服务。 $N$ 层是服务提供者， $N+1$ 层是用户。
- 服务是通过一组服务原语来执行的。

# 数据单元和服务访问点

- 数据单元是网络中信息传送的单位
- 相邻层在提供服务的过程中要传递信息，这些信息称为服务数据单元SDU (Service Data Unit)
- 对等层间交换的信息单位称为协议数据单元PDU (Protocol Data Unit)
- 层间接口处提供服务的地方称为服务访问点SAP (Service Access Point)

# 常见信息种类



# 各种数据单元关系

ICI 接口控制信息 PDU 协议数据单元  
PCI 协议控制信息 SDU 服务数据单元

(N+1)层

第n+1层的IDU(接口数据单元)由n+1层的ICI(接口控制信息)和n+1层的PDU(协议数据单元)组成。

IDU 接口数据单元

ICI(n+1)

PDU(n+1)

SDU(n)

一个SDU可能要封装在多个PDU中传输

其中，n+1层的ICI(接口控制信息)是n层处理所需的信息。

N层处理所需的信息

PCI(n)

SDU(n)

PDU(n)

(N)层

第n+1层的PDU(协议数据单元)即为第n层的SDU(服务数据单元)。

IDU(n)

ICI(n)

PDU(n)

ICI(n)

PDU(n)

SDU(n-1)

第n层的SDU(服务数据单元)前面加上第n层的PCI(协议控制信息)即为第n层的PDU(协议数据单元)

N-1层处理所需的信息

但下一页的标黄处的描述和这一页有偏差

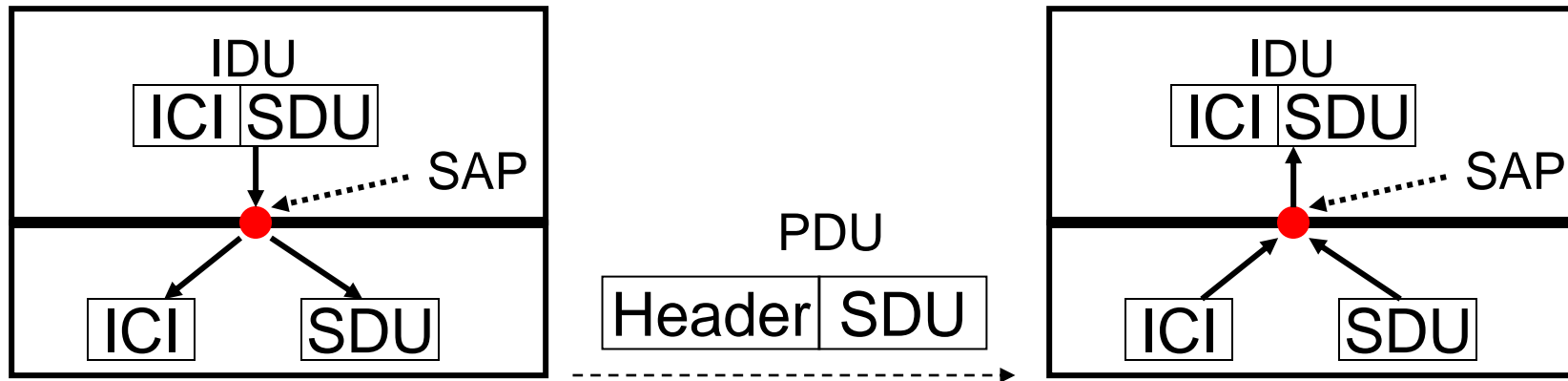
PCI(n-1)

SDU(n-1)

PDU(n-1)

(N-1)层

# Interface & Service



- **IDU = Interface Data Unit = ICI + SDU**
- **ICI = Interface Control Information**
- **SDU = Service Data Unit**
- **PDU = Protocol Data Unit = Fragments of SDU + Header or Several SDUs + Header (blocking)**
- **SAP = Service Access Point**

## 1.3.5 连接和无连接的服务

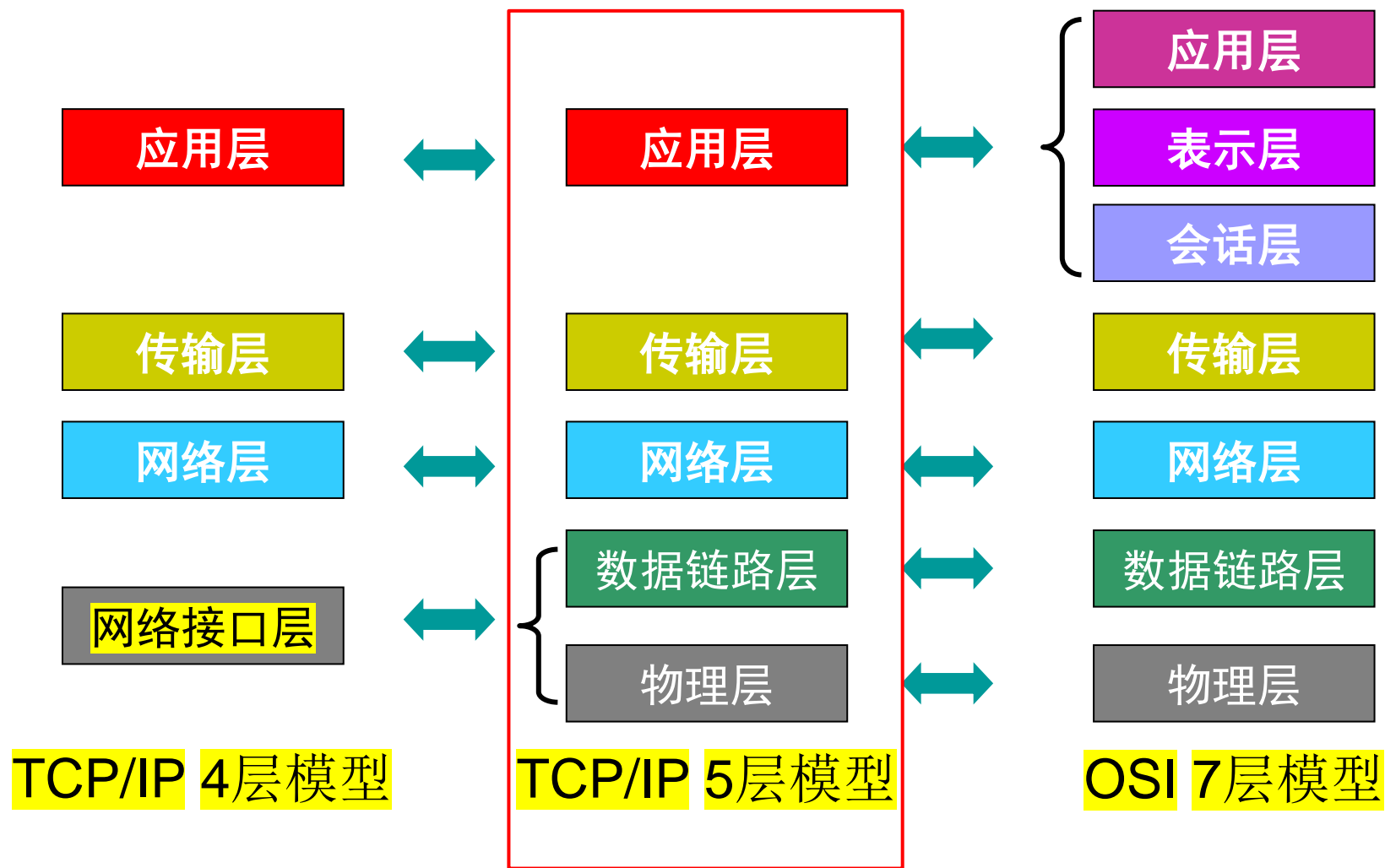
- OSI模型中，下层能为上层提供两种不同类型的服务
- 连接的服务 ↔ 电话系统
  - 建立连接阶段
  - 数据交换阶段
  - 释放连接阶段
- 无连接的服务 ↔ 邮政系统
  - 三种类型
    - 数据报
    - 证实交付（可靠的数据报）
    - 请求/响应

## 1.4 TCP/IP网络体系结构

- **TCP/IP**(Transmission Control Protocol/ Internet Protocol) 是世界上最大的计算机网络Internet 运行的基础，是目前应用最广泛的网络通信协议。
- **OSI/RM**的制定具有十分重大的意义，但是由于**TCP/IP**协议得到普遍使用，所以在计算机网络领域一般认为**TCP/IP**是事实上的工业标准，在实际运行的系统中采用**OSI**模型的并不多。尽管如此，**OSI**模型仍然对建立计算机网络具有重要的指导意义。

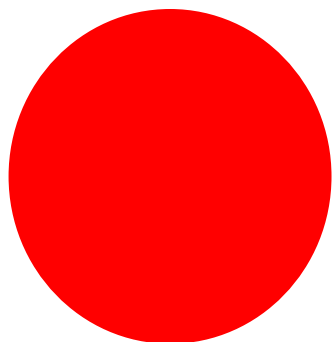


# 模型对比



# IP及其配套协议

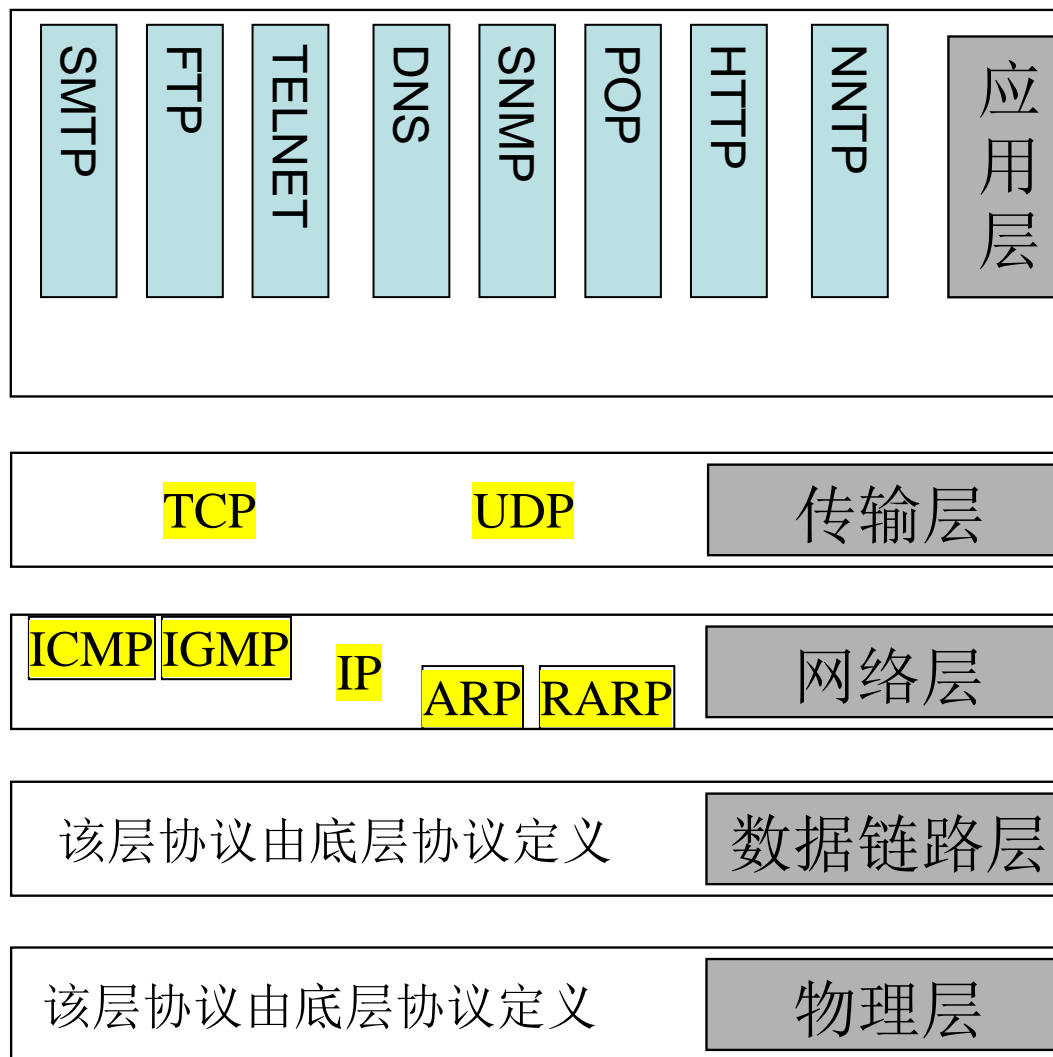
什么封装在哪里，不会



## OSI模型

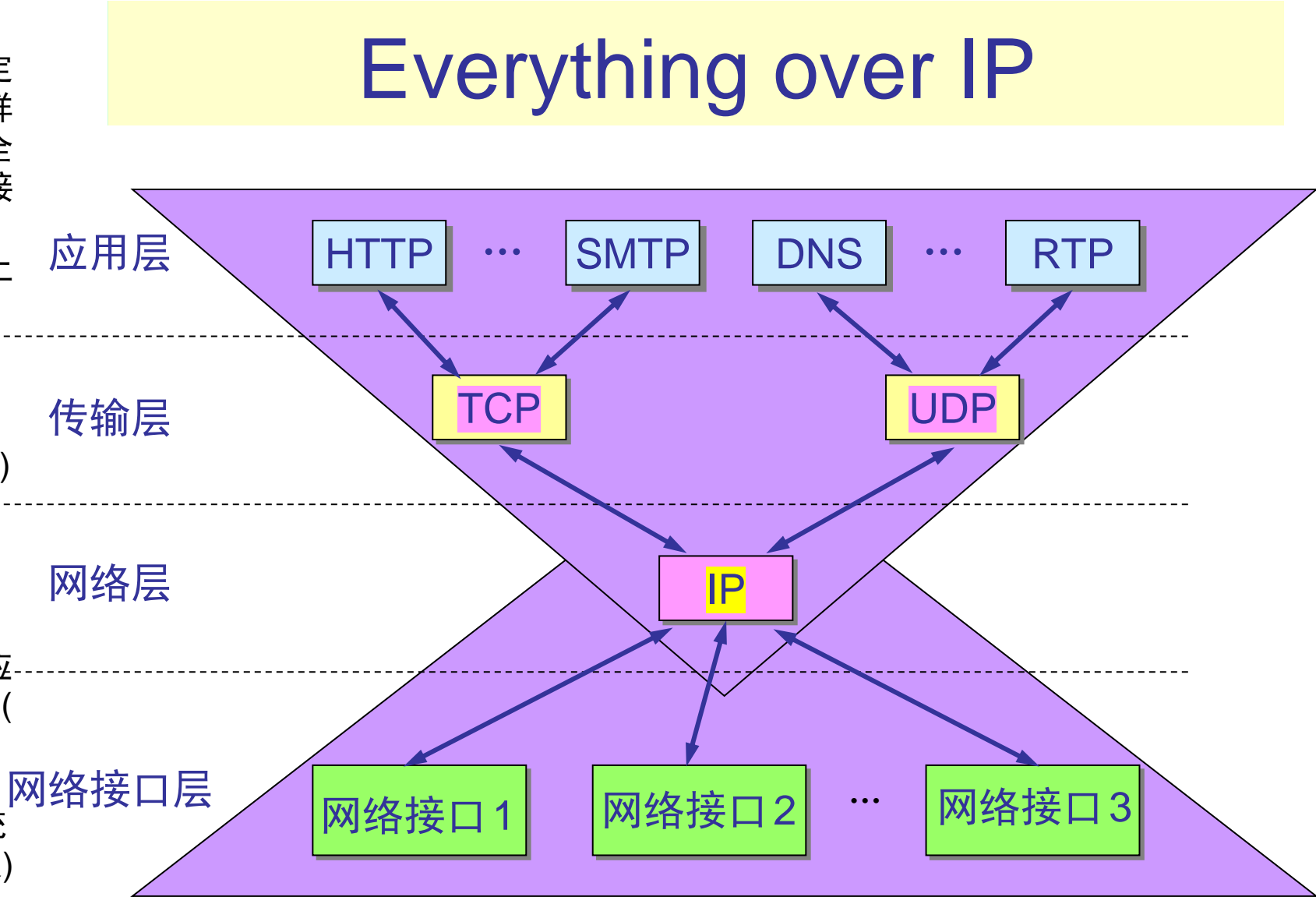


## TCP/IP



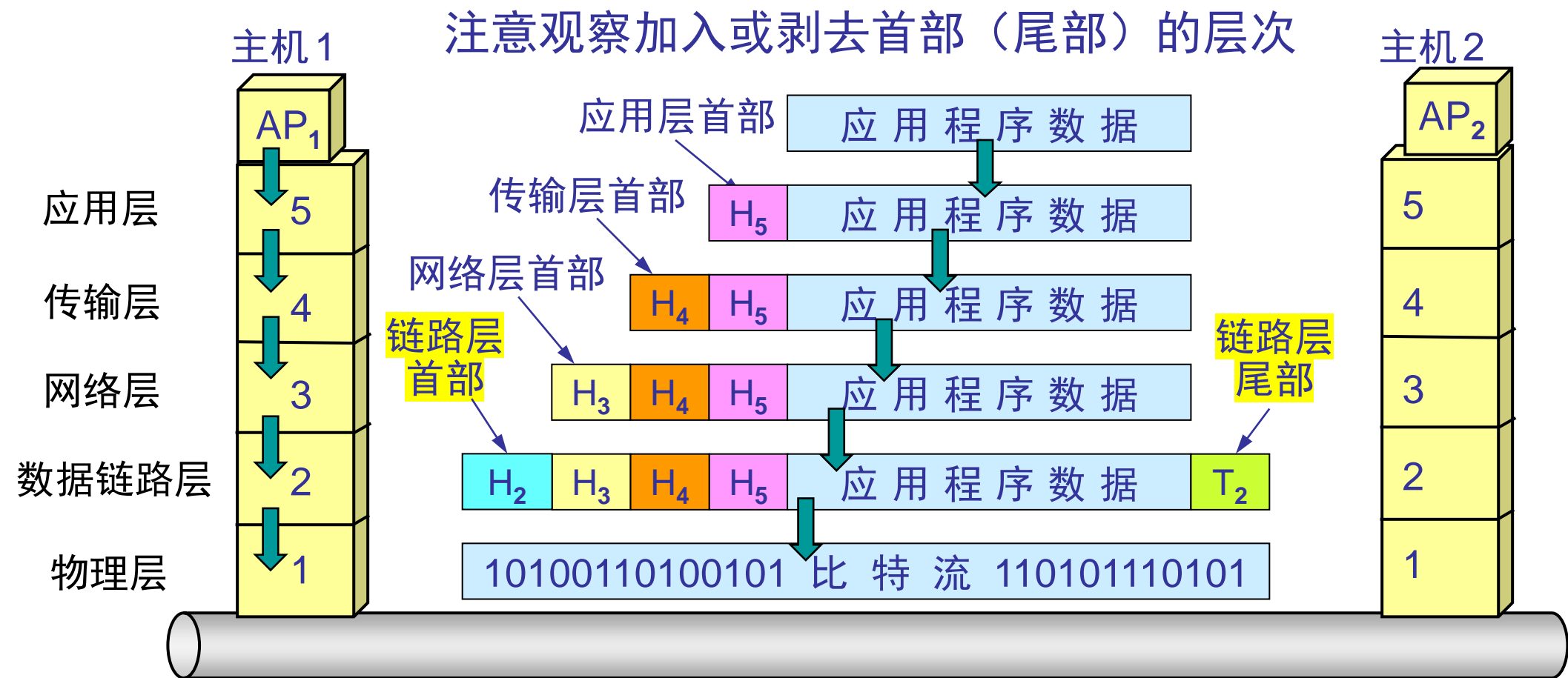
# 沙漏计时器形状的TCP/IP协议族

- (1)TCP/IP体系结构的网络接口层并没有规定什么具体的内容，这样做的目的是可以互连全世界各种不同的网络接口。因此，TCP/IP体系结构在本质上只有上面三层。
- (2)网络层协议IP是TCP/IP体系结构网络层的核心协议。
- (3)TCP(传输控制协议)和UDP(用户数据报协议)是TCP/IP传输层的两个重要协议。
- (4)TCP/IP体系结构的应用层包含了大量的应用层协议，例如HTTP(超文本传送协议)、SMTP(简单邮件传送协议)、DNS(域名系统)、RTP(实时传输协议)

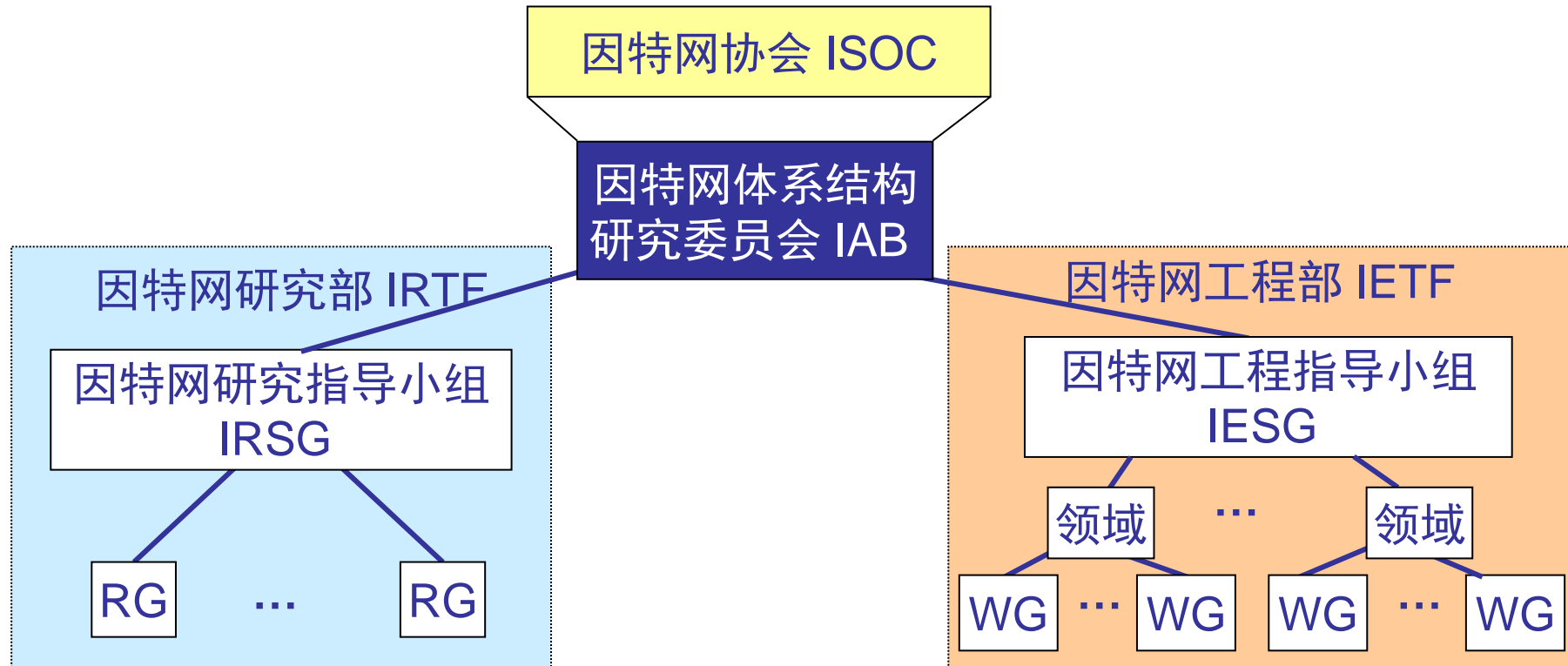


IP协议可以将不同的网络接口进行互连，并向其上的TCP和UDP协议提供网络互连服务。TCP协议在享受IP协议提供的网络互连服务的基础上，可向应用层的某些协议提供可靠传输的服务。UDP协议在享受IP协议提供的网络互连服务的基础上，可向应用层的某些协议提供不可靠传输的服务。IP协议作为TCP/IP体系结构中的核心协议，一方面负责互连不同的网络接口，另一方面为各种网络应用提供服务。

# 主机1 向主机2 发送数据



# 因特网的标准化工作



Dave Clark:

We reject: kings, presidents and voting.

We believe in: rough consensus and running code.

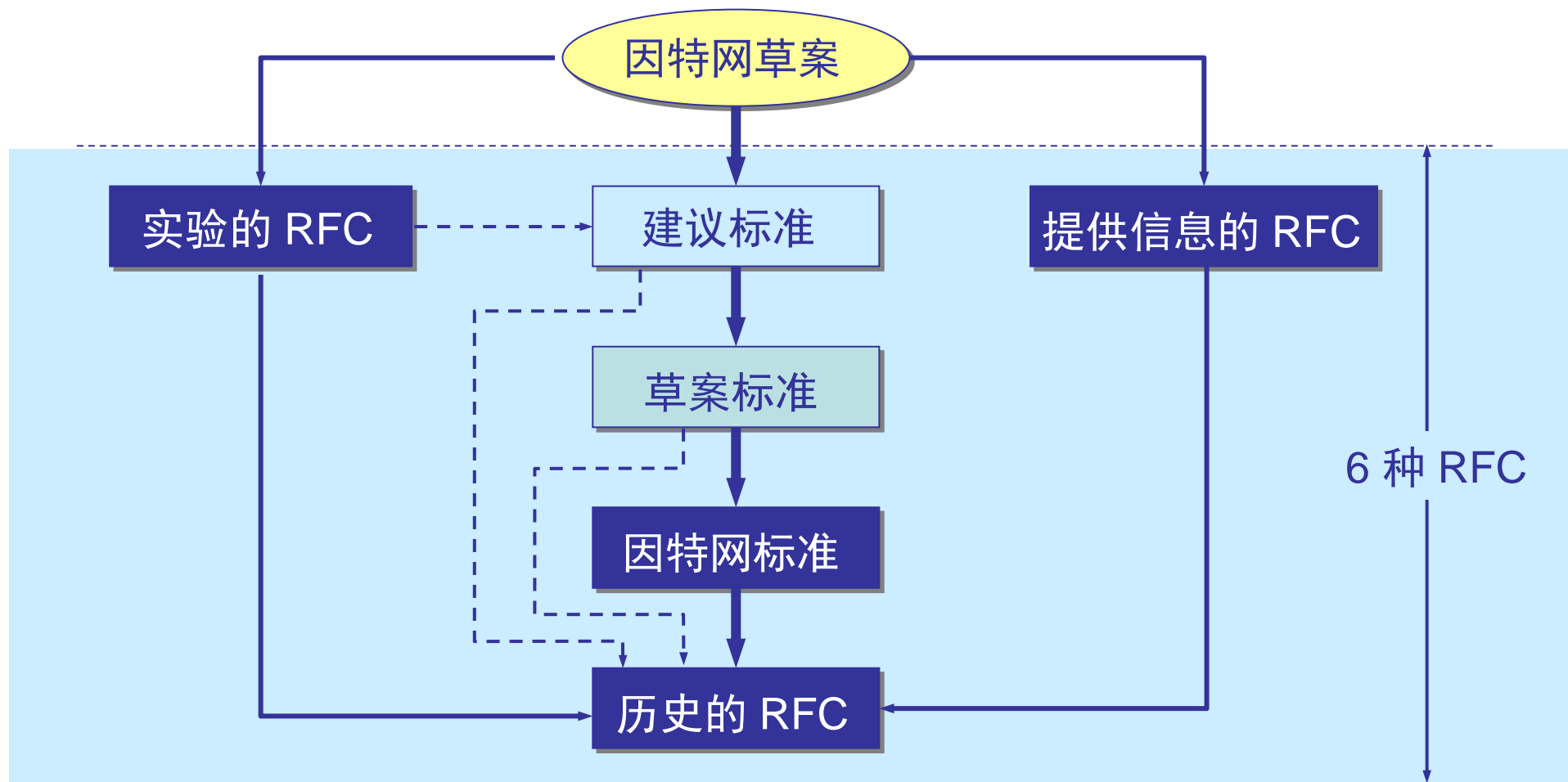
我们拒绝：国王、总统和选举。

我们信奉的是：大体上的一致意见和正在执行的代码。

# RFC文档

- RFC: Request for Comment
- 所有关于Internet网络的正式标准都以文档出版
- 出版的目的是为了提供相关的信息
- RFC文档的每一项都用一个数字来标识, 例如RFC983, 数字值越大说明RFC文档的内容越新。
- 所有的RFC文档都可以网络上免费获得。
  - <http://www.ietf.org/rfc.html>

# 各种RFC之间的关系



# OSI vs TCP/IP

## ■ 共同点

- 以协议栈的概念为基础
- 协议栈中的协议彼此独立
- 各层的功能大体相似

## ■ OSI的缺点:

- 糟糕的时机
- 糟糕的技术
- 糟糕的实现
- 糟糕的政策

## ■ TCP/IP的缺点:

- 没有清楚区分服务、接口和协议
- 不通用
- 没有区分物理层和数据链路层



# 1.5 网络互连

- 互连的目的：扩大资源的共享范围
- 面临的问题：
  - 不同寻址方案
  - 不同包长度
  - .....

# 网络互连设备

- 四大类：
  - 中继器
  - 网桥
  - 路由器
  - 网关
- 四类设备分别和OSI模型中不同层中的协议交互作用

# 中继器(Repeater)也就是集线器

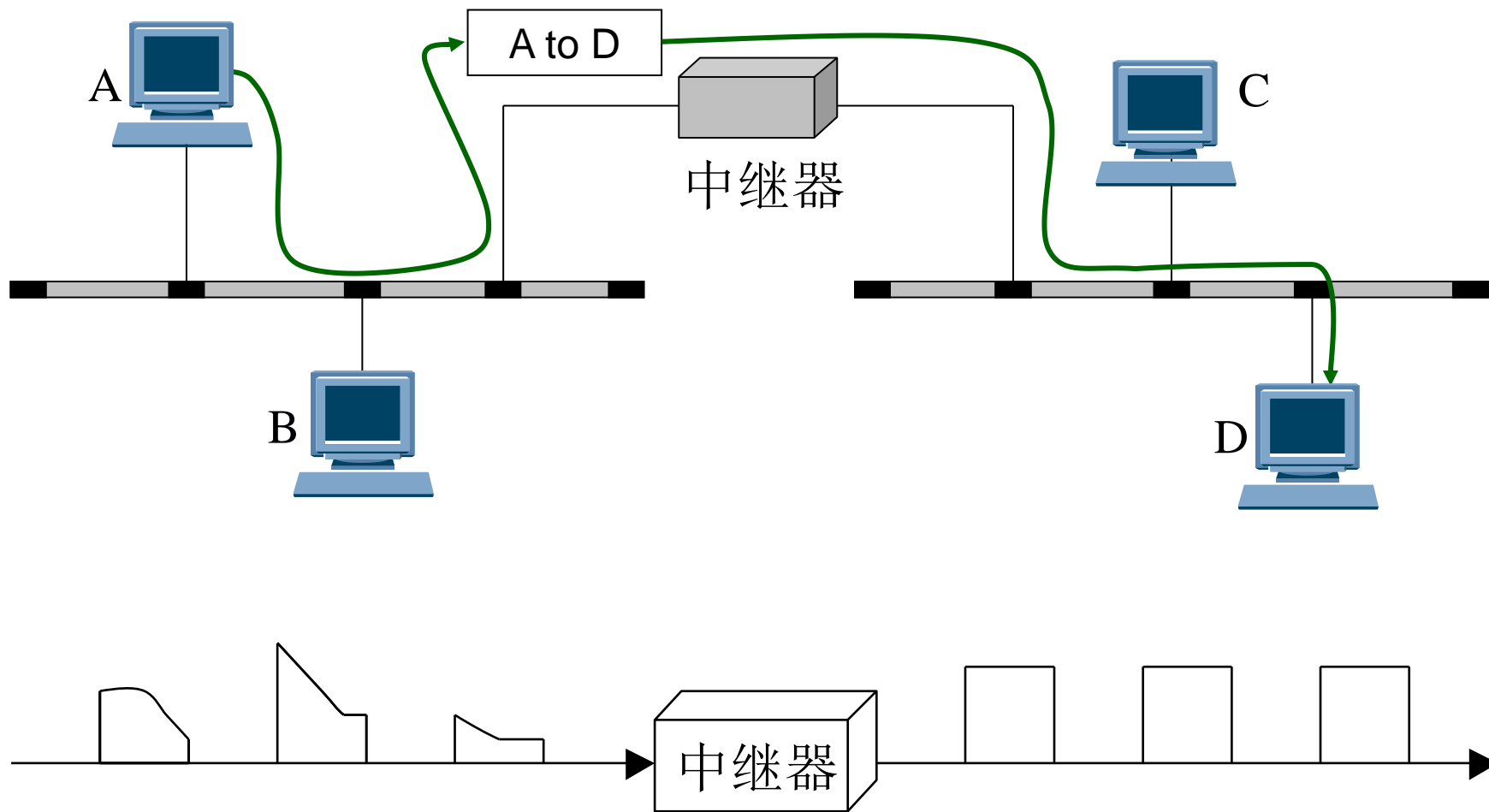
- 通过放大信号
- 扩展网络的物理网段
- 不以任何方式改变网络的功能
- 仅仅运行在物理层

中继器又称转发器，主要功能是将信号整形并放大再转发出去，以消除信号经过一长段电缆后，因噪声或其他原因而造成的失真和衰减，使信号的波形和强度达到所需要的要求，进而扩大网络传输的距离。

仅运行在物理层

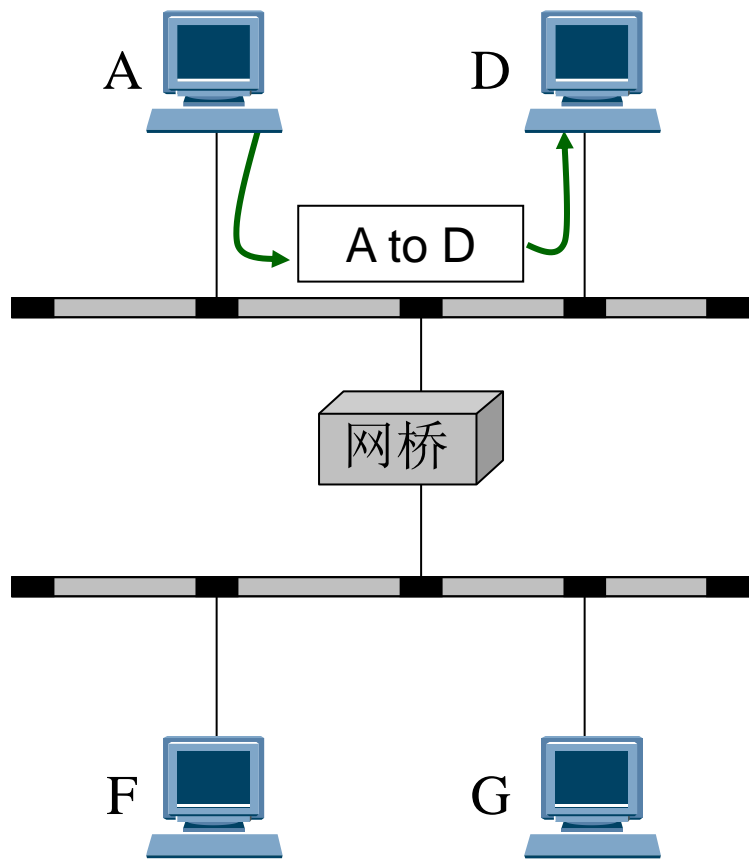
# 中继器(Repeater)

中继器又称转发器，主要功能是将**信号整形并放大**再转发出去，以消除信号经过一长段电缆后，因噪声或其他原因而造成的失真和衰减，使信号的波形和强度达到所需要的要求，进而扩大网络传输的距离。

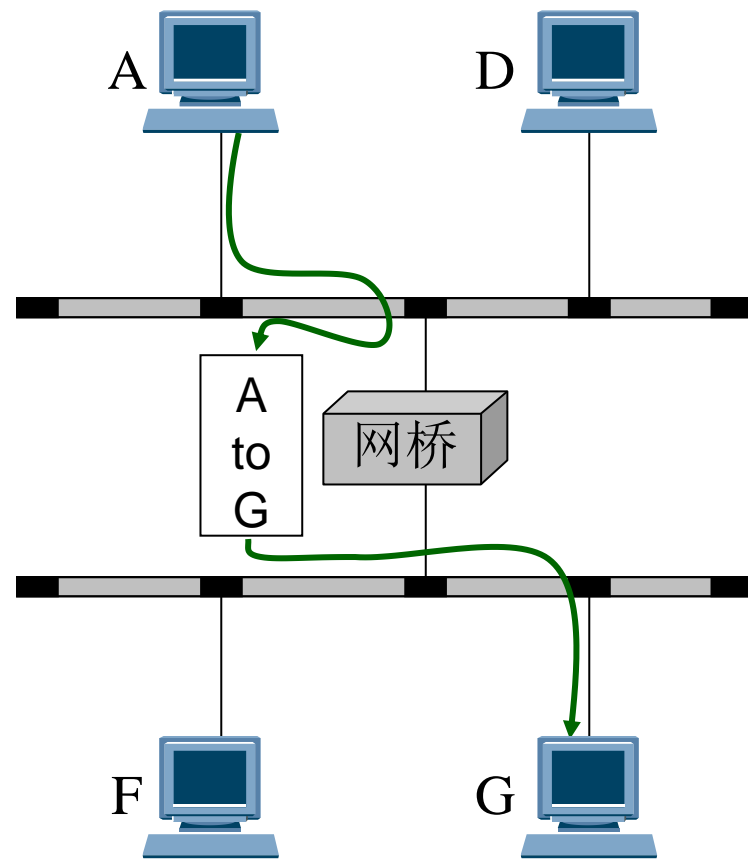


# 网桥(Bridge)

- 一种存储转发设备。
- 同时作用在OSI的物理层和数据链路层。
- 在数据链路层进行数据帧的存贮和转发
- 用途
  - 识别物理地址
  - 具备寻址功能。

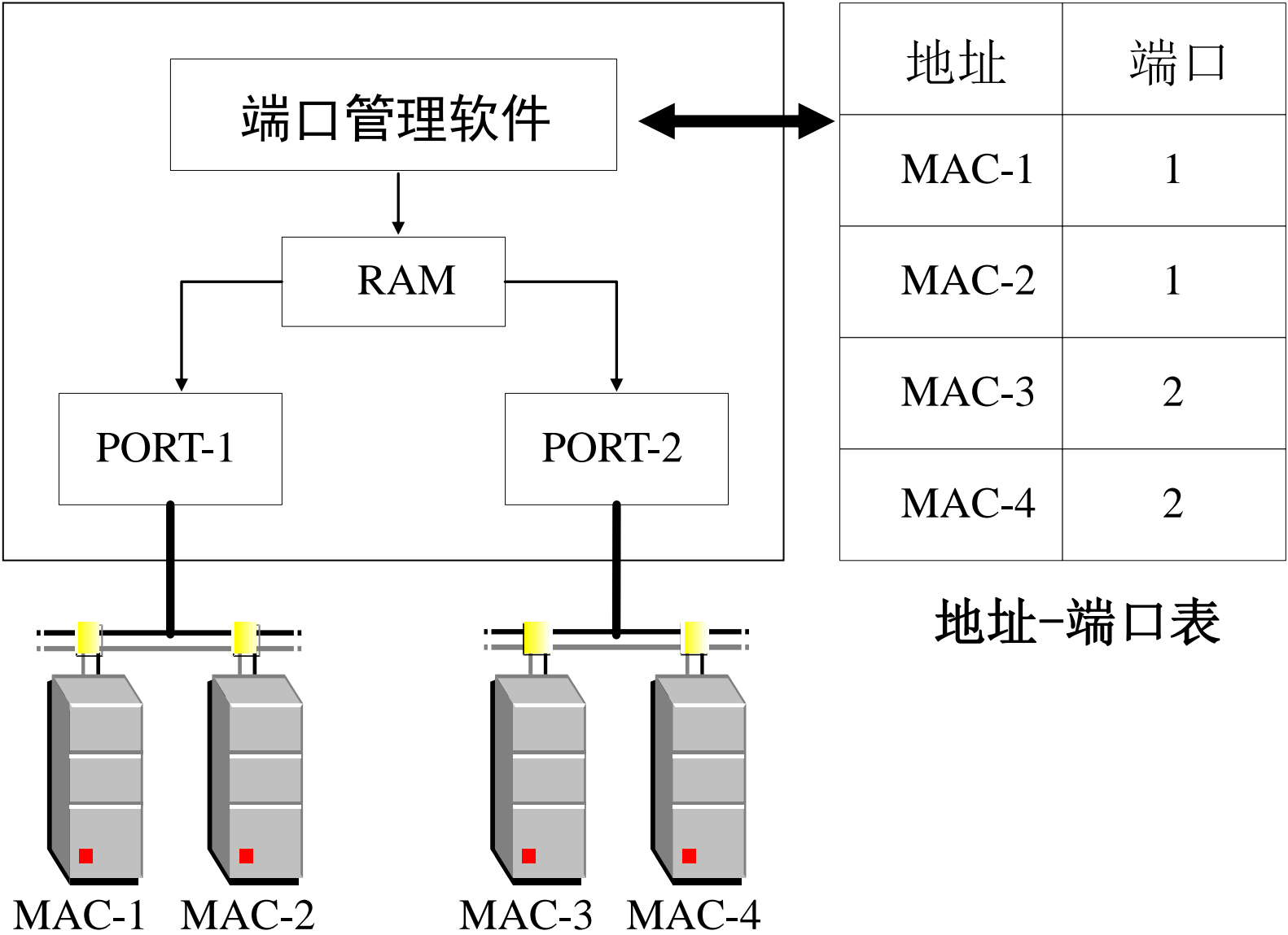


(a)



(b)

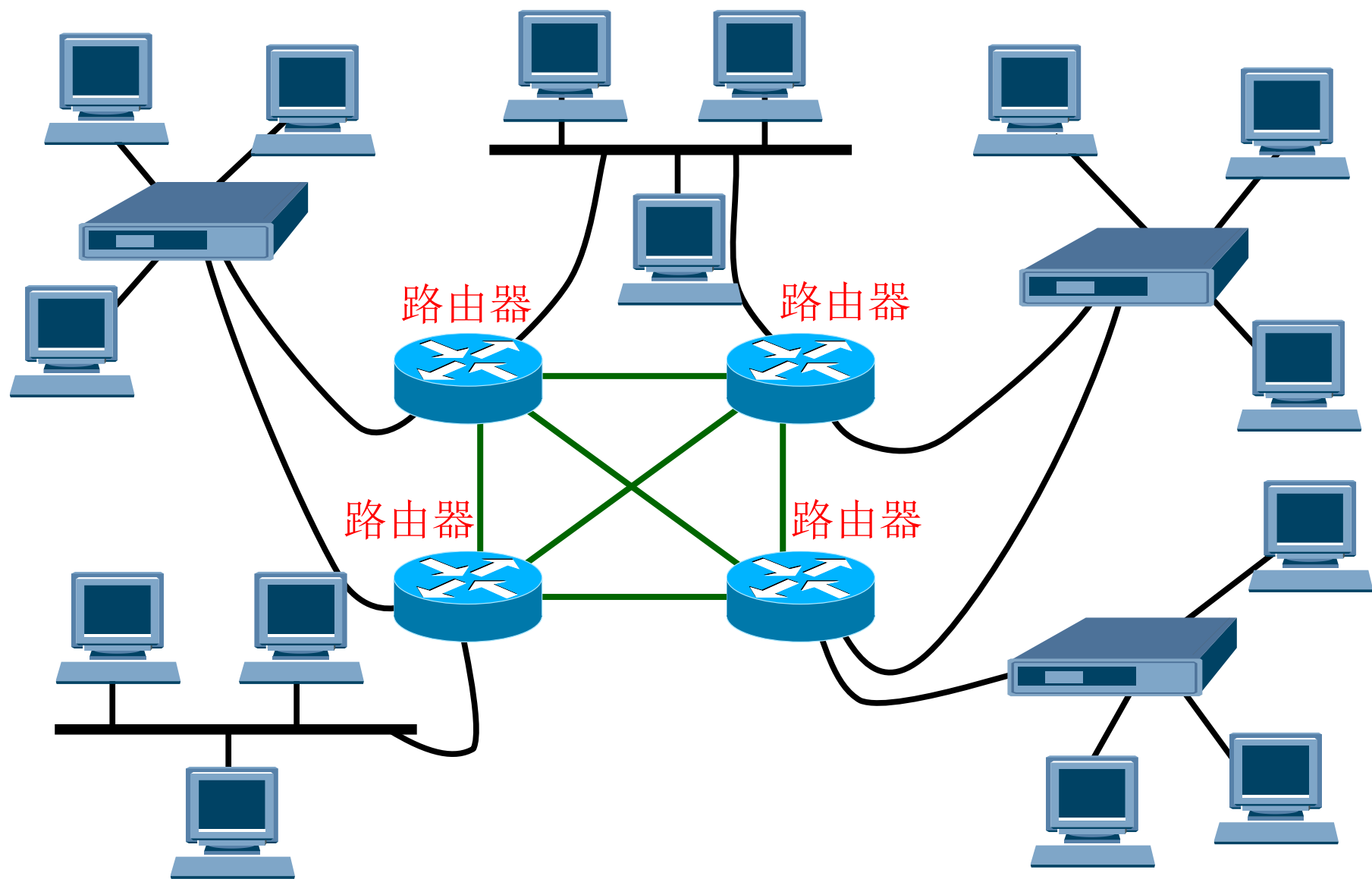
# 网桥原理



# 路由器(Router)

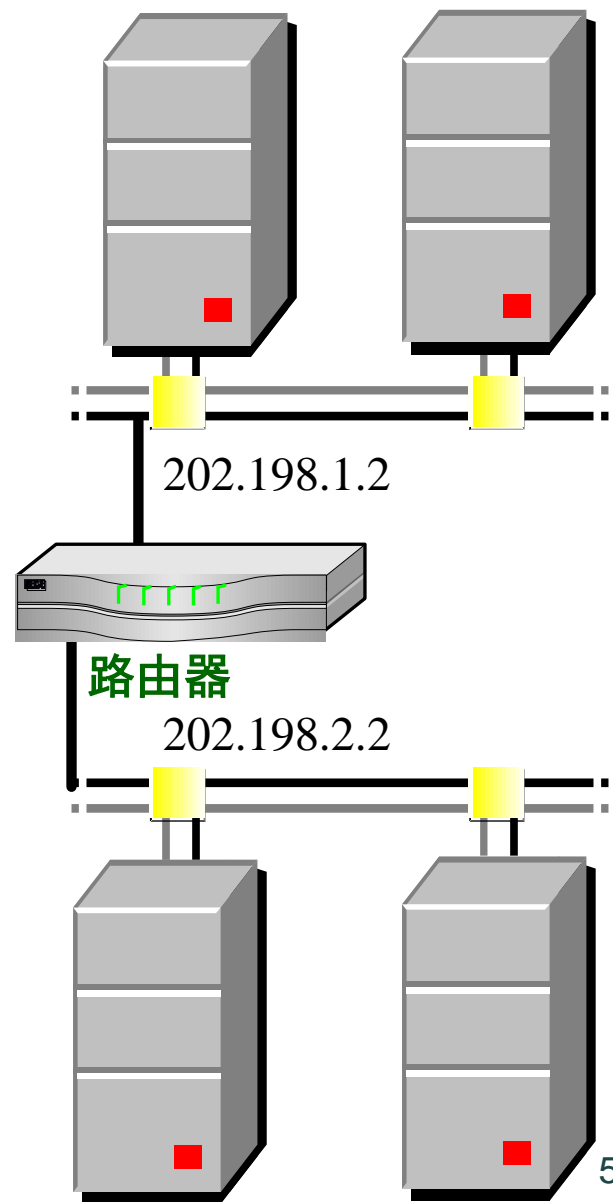
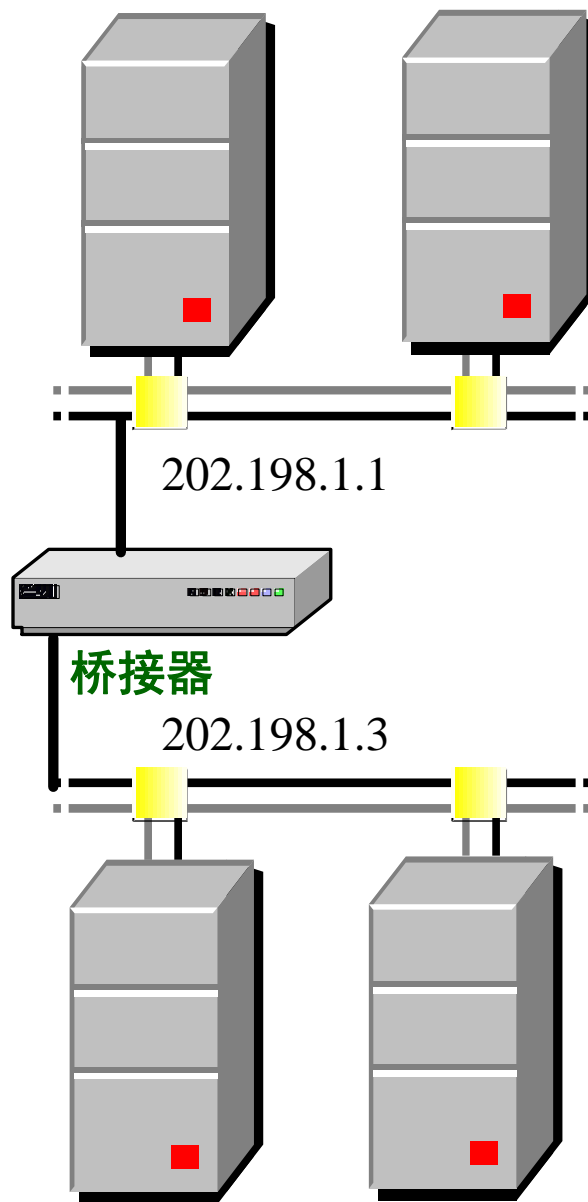
- 工作在OSI模型的物理层、数据链路层和网络层
- 连接多个网络
  - 从一个连接的网络中接收包，将包传送到第二个连接的网络中





# 网桥 vs 路由器

- 网桥只能连接两个逻辑相同的网络（它相当于一个二层交换机），而路由器可以连接不同网络。
- 网桥就是把不同物理位置的机器组成一个很大的局域网，连接的多个网络属于同一个局域网；路由器可以连接不同的网络，连接的网络之间可以说没什么关系，是独立的；
- 网桥基于MAC地址转发，路由器基于IP转发
- 网桥不隔离广播，而路由器可以隔离广播；
- 网桥主要工作在数据链路层，路由器主要工作在网络层。



# 网关(Gateway)

- 协议转换器
- 可以工作在OSI的所有7层
- 能互连异类的网络
- 常见用途：在局域网的微机和小型机或大型机之间作翻译

## 1.6 计算机网络性能

- 速率(bitrate/data rate)
- 带宽(bandwidth)
- 信道利用率(utilization)
- 延迟时间(delay/latency)
- 时延带宽积
- 往返时间 (RTT)

# 速率

- **比特 (bit)**：计算机中数据量的单位
- 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**、**Kb/s**或**Mb/s**，**Gb/s**等
- **速率**往往是指**额定速率**或**标称速率**

# 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)
- 常用的带宽单位是
  - 千比特每秒 Kb/s ( $10^3$  b/s)
  - 兆比特每秒 Mb/s ( $10^6$  b/s)
  - 吉比特每秒 Gb/s ( $10^9$  b/s)
  - 太比特每秒 Tb/s ( $10^{12}$  b/s)

# 信道利用率

- 除去全部控制信息后的数据率与信道吞吐量之比；
- 发送数据的时间和信道被占用时间之比。

For example, in Ethernet the maximum frame size 1526 bytes (maximum 1500 byte payload + 8 byte preamble + 14 byte header + 4 Byte trailer). An additional minimum interframe gap corresponding to 12 byte is inserted after each frame. This corresponds to a maximum channel utilization of  $1526/(1526+12) \cdot 100\% = 99.22\%$ , or a maximum throughput of 99.22 Mbit/s inclusive of Ethernet datalink layer protocol overhead in a 100 Mbit/s Ethernet connection.

# 时延（延迟时间）

是指开始发送

- 信息包从源结点产生到成功地被目的点接收所经历的时间，包括以下几个方面：

① 排队时延：在发送队列中的等待时间

- 排队时延的长短往往取决于网络中当时的通信量

② 处理时延：主机或中间节点接收处理数据的时间

③ 发送时延：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

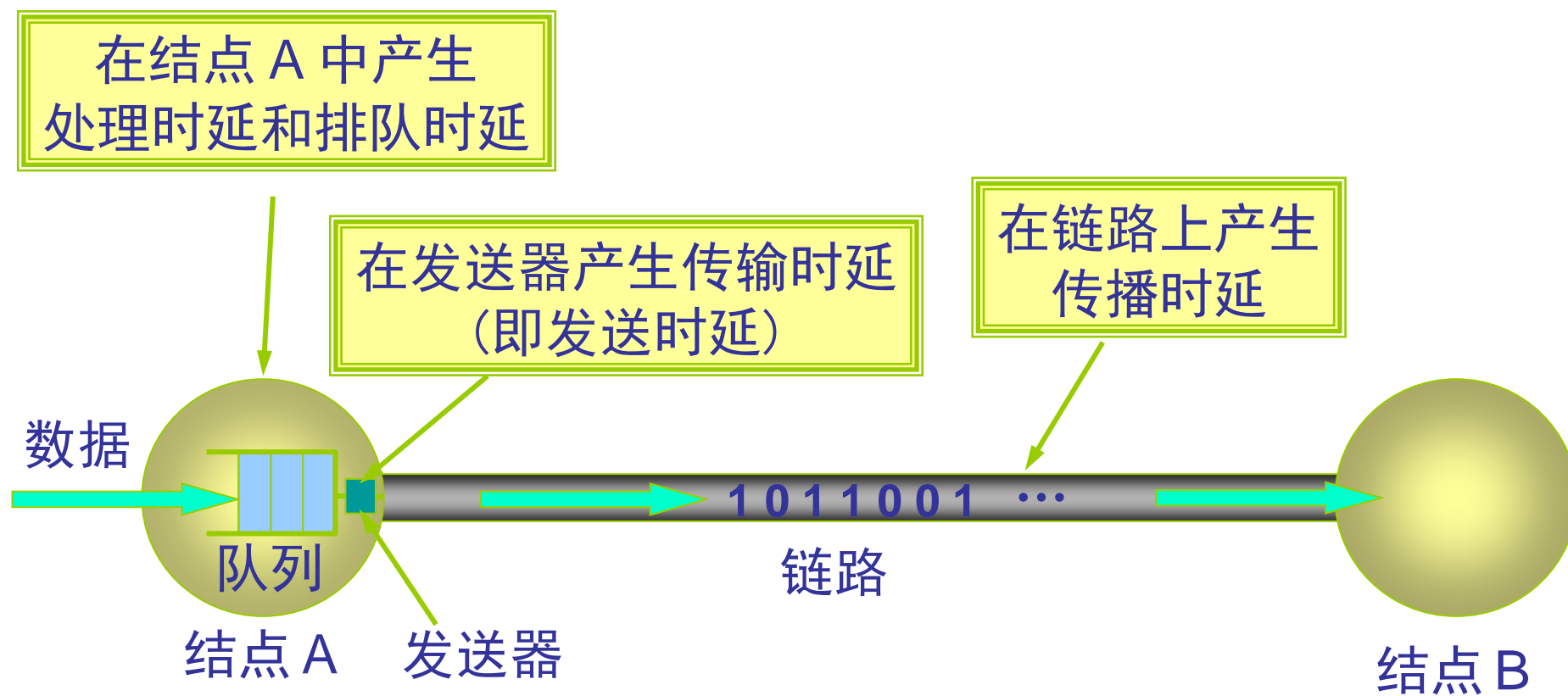
$$\text{发送时延} = \frac{\text{数据块长度（比特）}}{\text{信道带宽（比特/秒）}}$$

④ 传输时延：电磁波在信道中需要传播一定的距离而花费的时间

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



总时延 = 处理时延 + 排队时延 + 发送时延 + 传播时延



- 时延带宽积：以比特为单位的链路长度  
$$\text{时延带宽积} = \text{传播时延} \times \text{带宽}$$
- 往返时间：发送数据开始——收到对方的确认
  - 包括中间节点的处理时延、排队及转发时延

# 例题

记!

1. A、B主机距离100米，采用双绞线，计算从A到B的传播时间？

解：  $100\text{m} \div 200\text{m}/\mu\text{s} = 0.5\mu\text{s}$

如果题中没有给信号在信道上的传播速率，那么默认为  $200\text{m}/\mu\text{s}$

2. 主机的发送速率是10Mbps，要发送5000B的文件需要多长时间？

解：  $5000 \times 8 \div 10\text{Mbps} = 4\text{ms}$

3. 某段链路传播时延20ms，带宽10Mb/s,求时延带宽积

解： 带宽时延积 =  $20\text{ms} \times 10\text{Mb/s} = 2 \times 10^5 \text{ bit}$

# 非性能指标

- 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