



武汉大学

WUHAN UNIVERSITY

计算机网络

林海

Lin.hai@whu.edu.cn



教材

- 计算机网络（第7版）
 - 谢希仁 电子工业出版社
- 参考教材
 - 计算机网络（第五版）
 - **Andrew S. Tanenbaum**
 - 清华大学出版社



考试

- 期末考试（60%）
- 平时（40%）
 - 课堂练习
 - 作业
 - 到课率



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



计算机网络

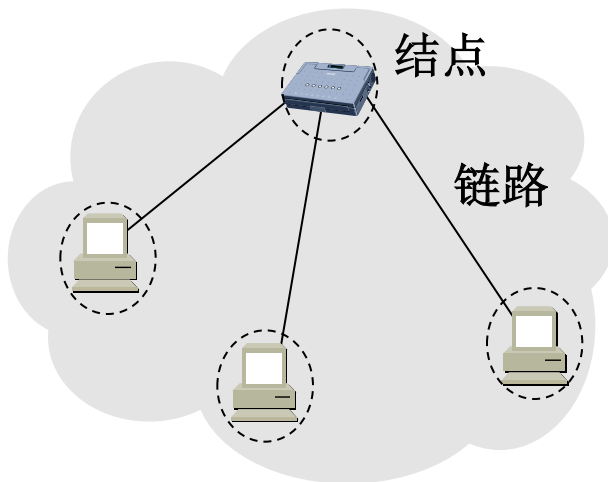
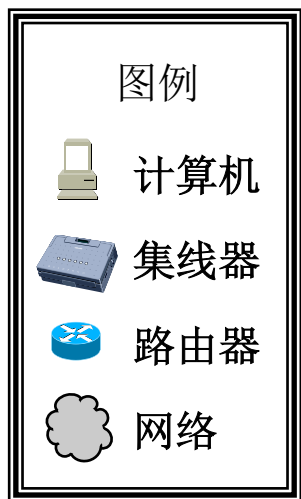
■ 什么是计算机网络？

- 是利用通信设备和线路将地理位置不同的、功能独立的多个计算机系统连接起来，以功能完善的网络软件实现网络的硬件、软件及资源共享和信息传递的系统。
- 由若干结点(**node**)和连接这些结点的链路(**link**)组成。
- 硬件和软件组成



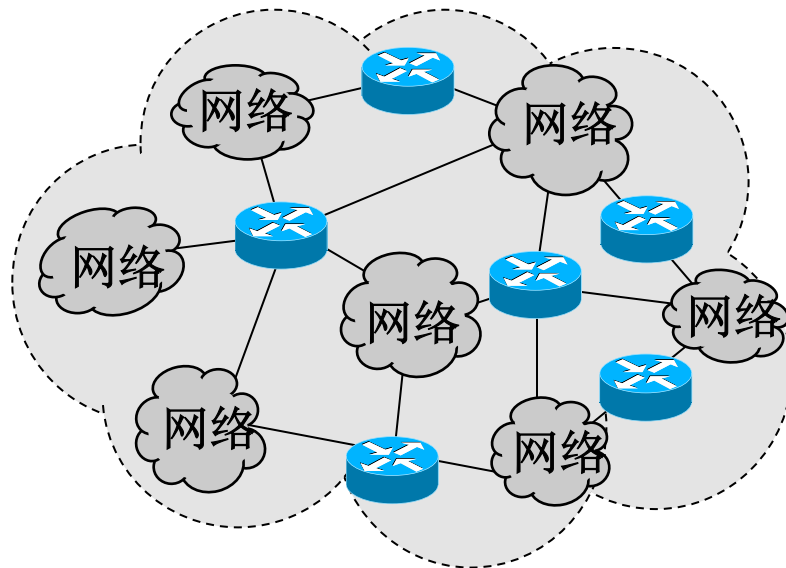
计算机网络

计算机网络（网络）



(a)

互连网（网络的网络）



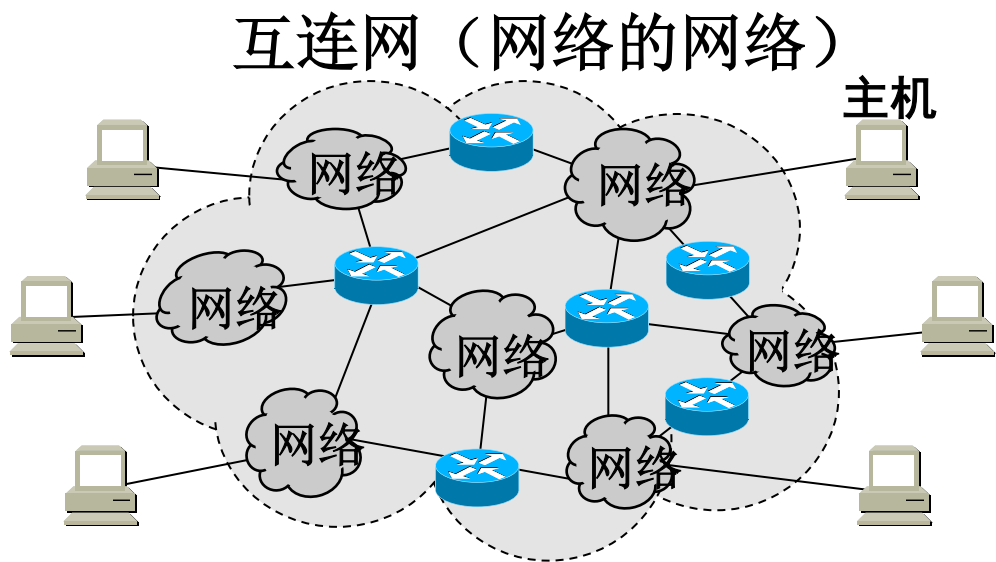
(b)

简单的网络 (a) 和 由网络构成的互连网 (b)



基本概念

- **网络**把许多计算机连接在一起。
- **互连网**则把许多网络通过路由器连接在一起。
- 与网络相连的计算机常称为**主机**。



主机可以是计算机，也可以是智能手机等智能机器。



1.2.2 互联网的历史

- 起因：电话网脆弱，需要一个更强壮的网络
 - 分层结构的脆弱：网络结构
 - 模拟信号的脆弱：数据包交换（存储-转发）
 - **ARPA主导形成ARPANET网络**
- 发展
 - **NSFNET网络**：由**NSF**主导，目的让更多的科研机构参与进来
 - **ANSNET网络**：由**ANS**主导，推动商业化



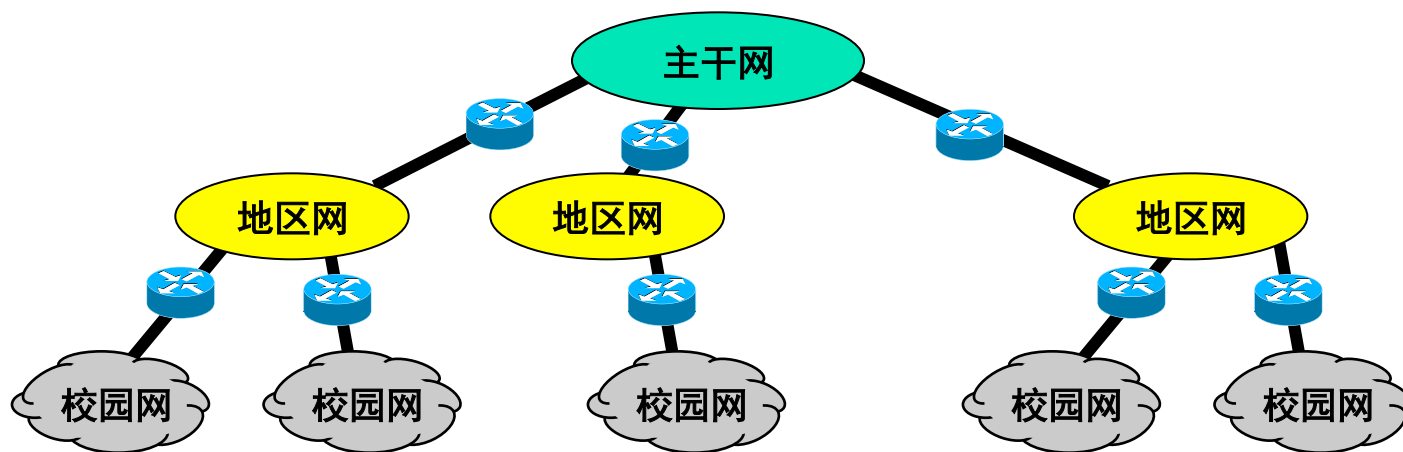
1.2.2 互联网基础结构发展的三个阶段

- **第一阶段：**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，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。**



1.2.2 互联网基础结构发展的三个阶段

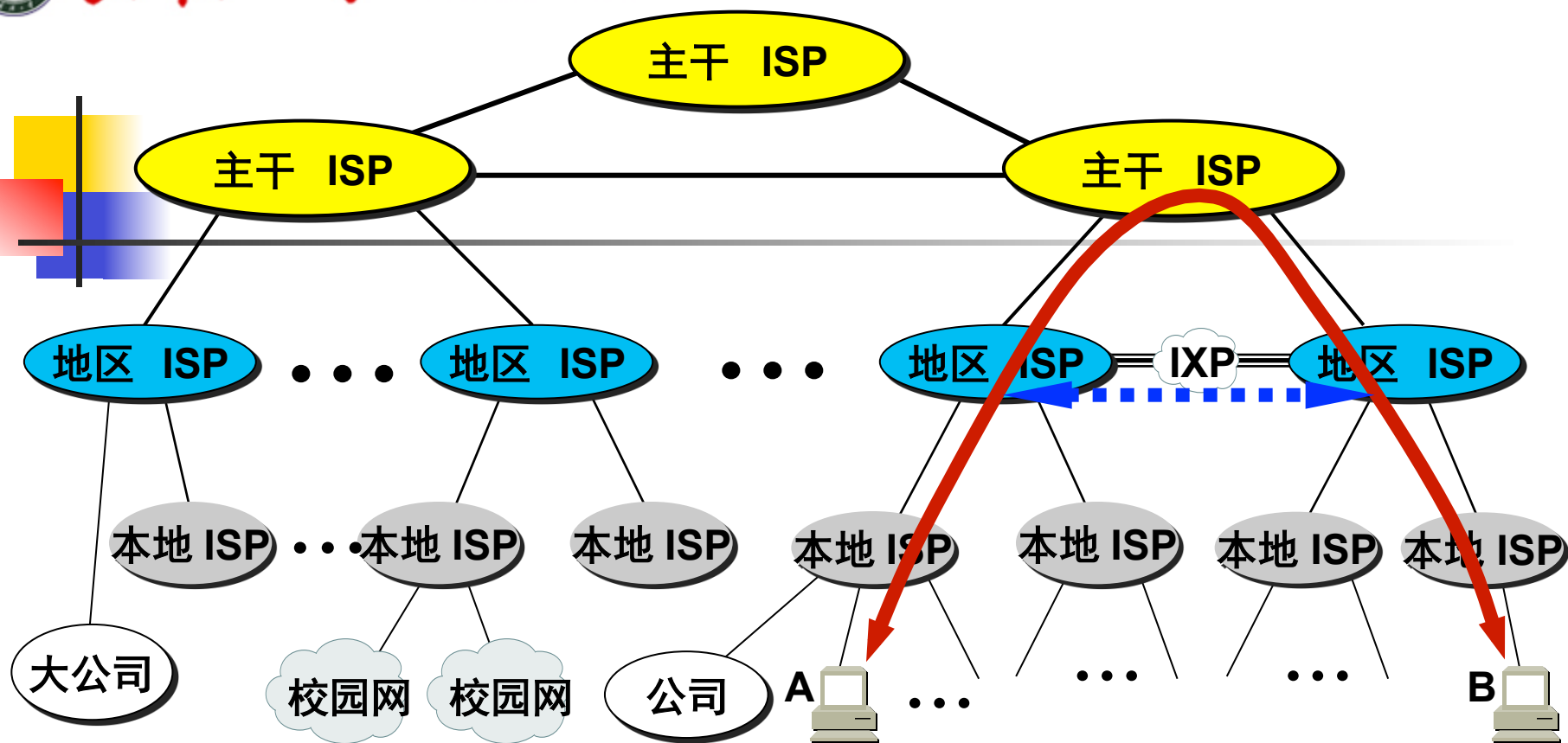
- **第二阶段：**建成了三级结构的互联网。
- 它是一个三级计算机网络，分为主干网、地区网和校园网（或企业网）。





1.2.2 互联网基础结构发展的三个阶段

- **第三阶段**：逐渐形成了多层次 **ISP** 结构的互联网。
- 出现了互联网服务提供者 **ISP** (Internet Service Provider)。
- 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** 也分成为不同层次的 **ISP**：主干 **ISP**、地区 **ISP** 和 本地 **ISP**。
- 通过该 **ISP** 接入到互联网
 - 拨号、DSL、光纤



主机A → 本地 ISP → 地区 ISP → 主干 ISP → 地区 ISP → 本地 ISP → 主机B

基于 ISP 的多层结构的互联网的概念示意图

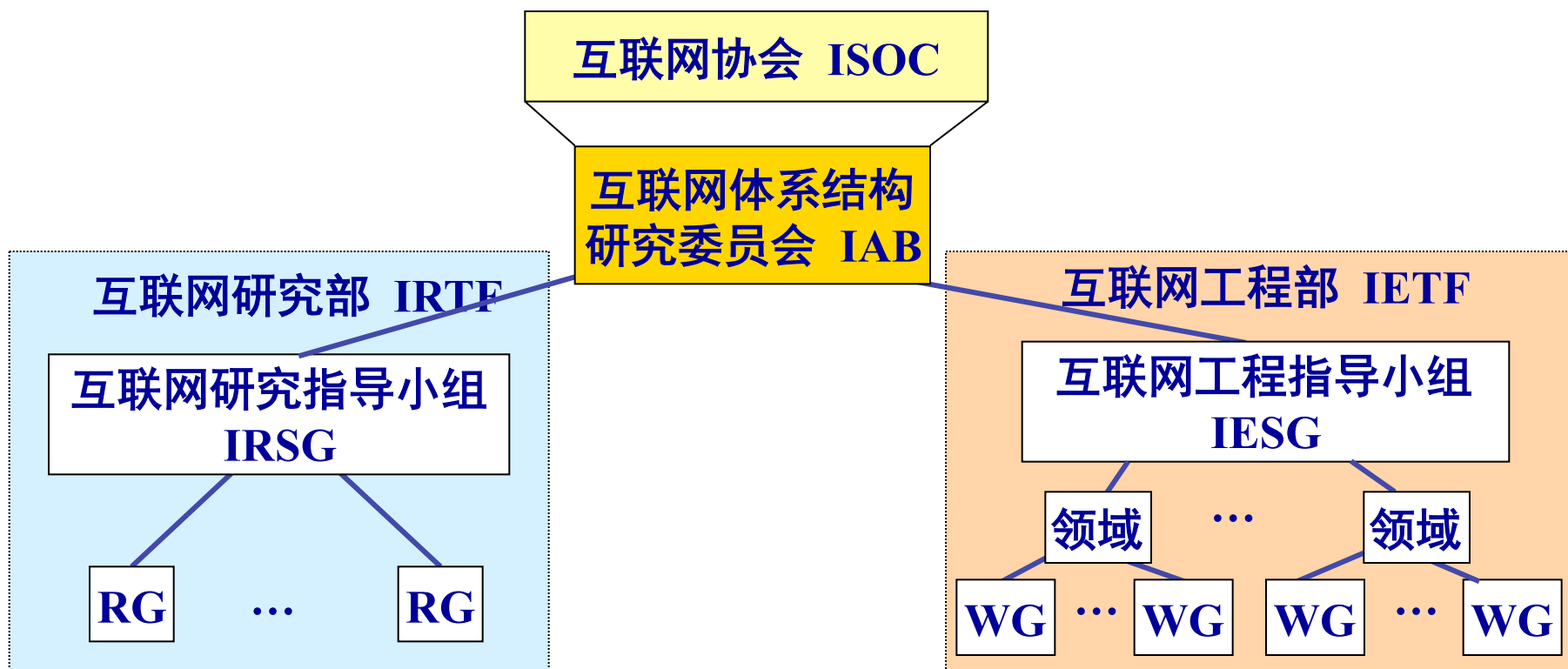


互联网的发展

- 应用
 - 邮件、FTP
 - **WWW**、即时通讯
- 标准化：所有人都需要遵循的规则
 - 事实标准：哪些已经发生但没有任何正式计划的标准
 - HTTP，蓝牙
 - 法定标准：标准化组织采纳的标准



1.2.3 互联网的标准化工作





成为互联网正式标准要经过三个阶段

所有互联网标准都以 **RFC** 的形式在互联网上发表。

- **互联网草案** (Internet Draft) ——有效期只有六个月。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。
- **互联网标准** (Internet Standard) ——达到正式标准后，每个标准就分配到一个编号 **STD XXXX**。一个标准可以和多个 RFC 文档关联。



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



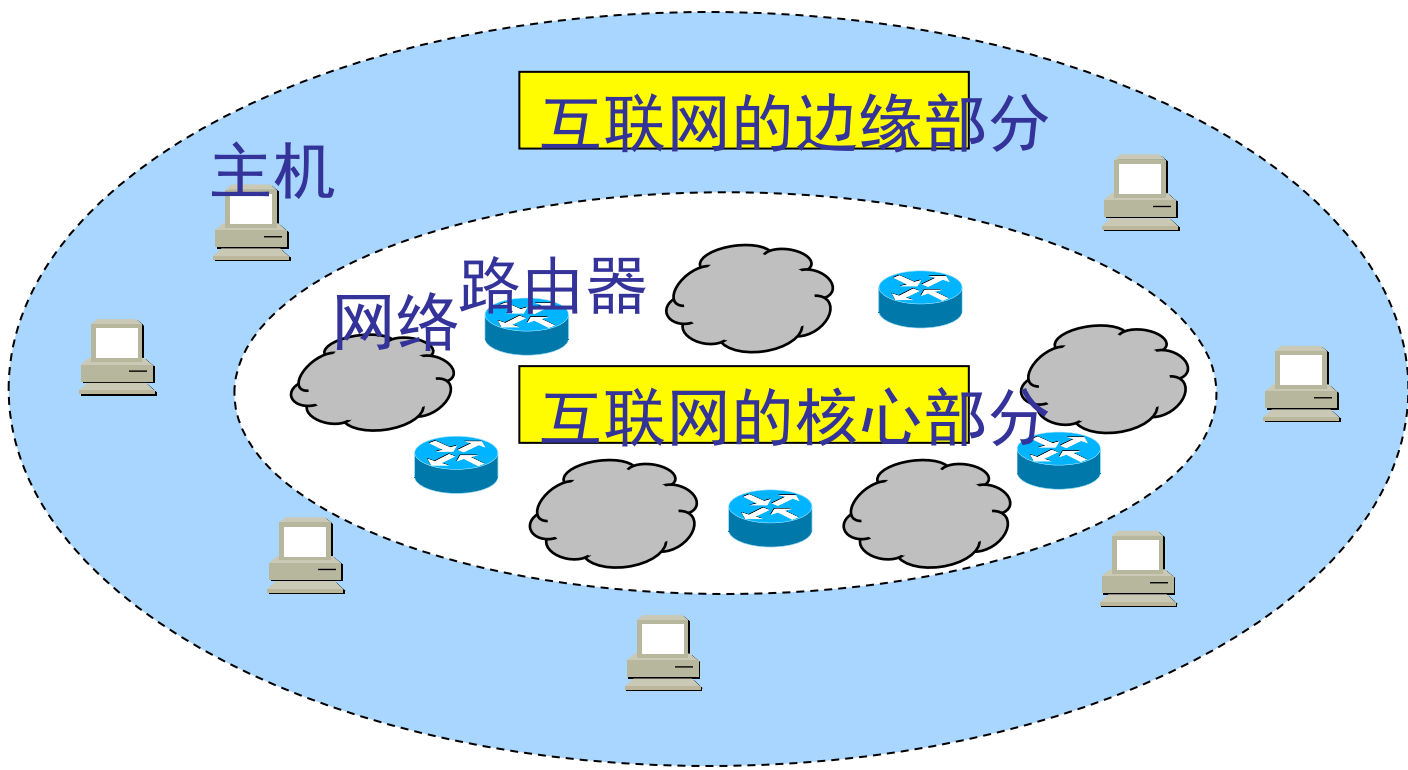
1.3 互联网的组成

从互联网的工作方式上看，可以划分为两大块：

- (1) **边缘部分**：由所有连接在互联网上的主机组成。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 and 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）。



互联网的边缘部分与核心部分





端系统之间通信的含义

- “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”。
简称为“计算机之间通信”。



端系统之间的两种通信方式

端系统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，简称为 C/S 方式。

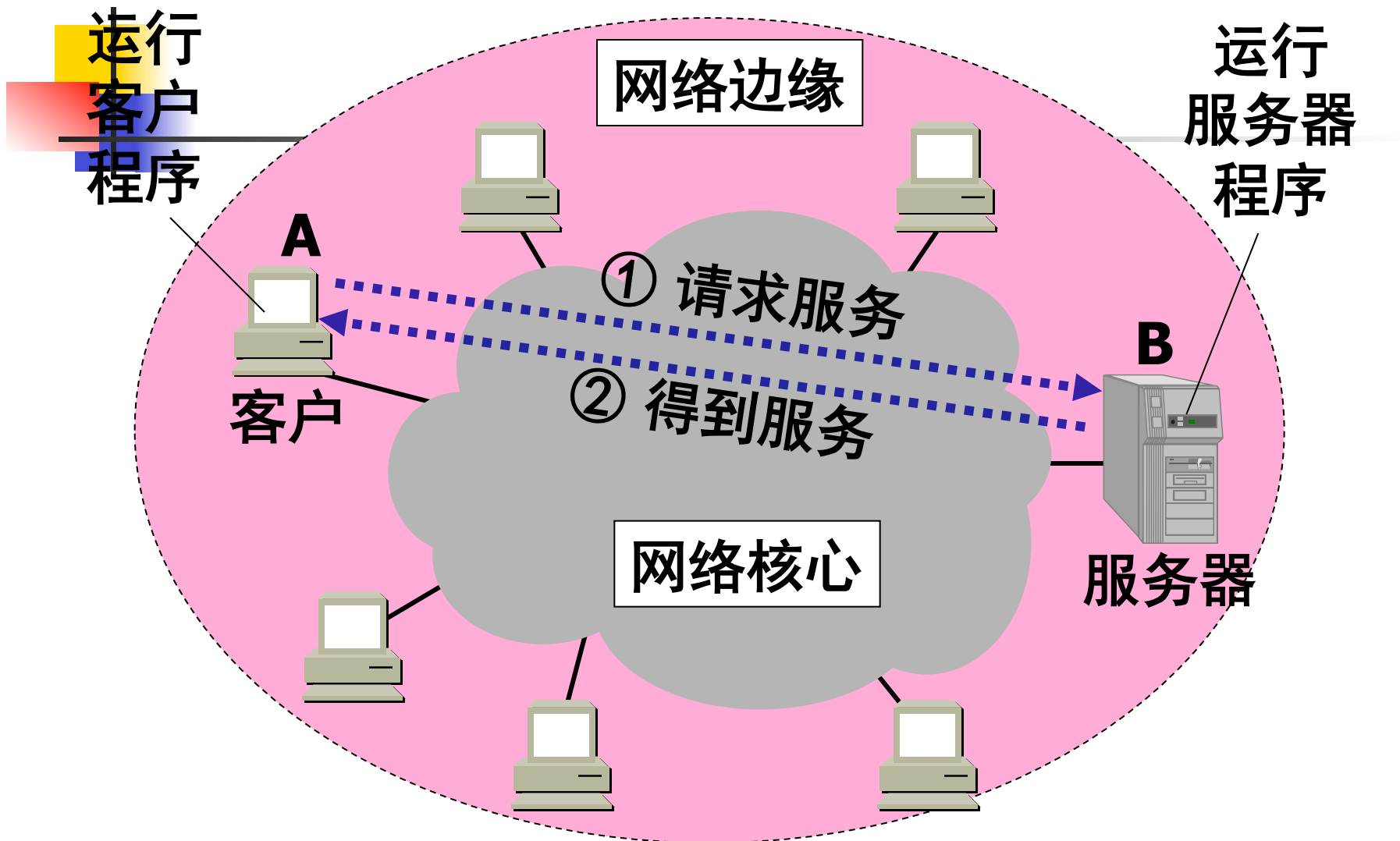
- 对等方式（P2P 方式）

即 Peer-to-Peer 方式，简称为 P2P 方式。



武汉大学

客户-服务器工作方式



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



武汉大学

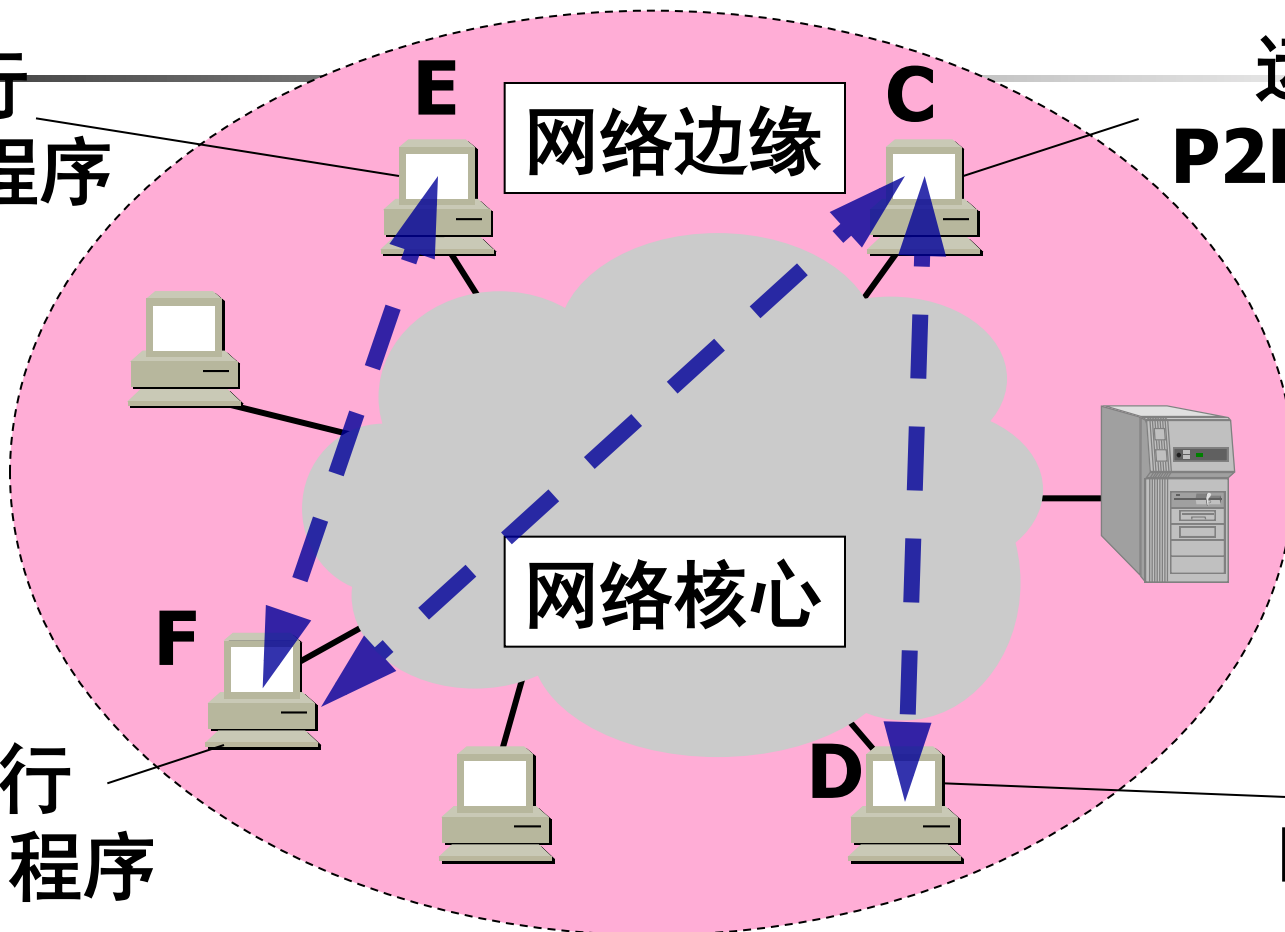
对等连接工作方式（P2P 方式）

运行
P2P 程序

运行
P2P 程序

运行
P2P 程序

运行
P2P 程序





1.3.2 互联网的核心部分

- 作用：数据转发
- 组成：由路由器组成
- 路由器功能
 - 分组交换 (packet switching)
 - 为了理解分组交换，首先了解电路交换 (circuit switching) 的基本概念。

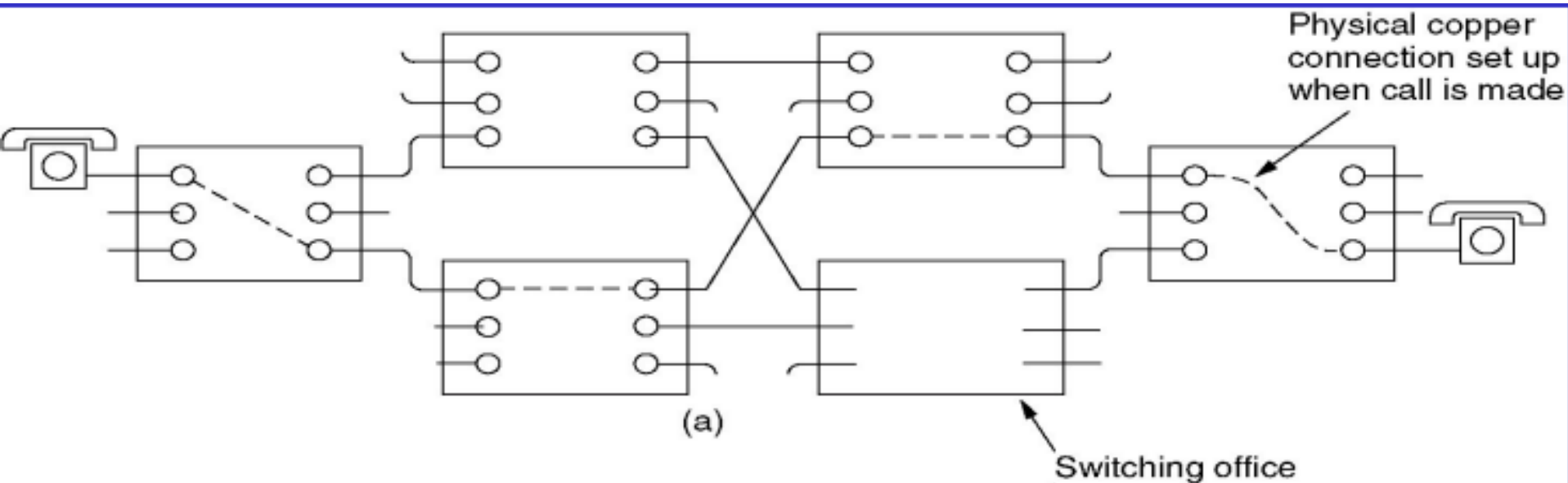


电路交换特点

- 电路交换必定是**面向连接**的。
- 电路交换分为三个阶段：
 - **建立连接**：建立一条专用的物理通路，以保证双方通话时所需的通信资源在通信时不会被其他用户占用；
 - **通信**：主叫和被叫双方就能互相通电话；
 - **释放连接**：释放刚才使用的这条专用的物理通路（释放刚才占用的所有通信资源）。



电路交换举例



电路交换的用户始终占用端到端的通信资源



电路交换

■ 特点

- 需要建立电路
- 所有的数据包都沿着这条电路传输
- 数据包只在发送端做处理，之后沿着电路进行数据传输

■ 优点

- 质量保障：确保数据会被送到接收端，无抖动

■ 缺点

- 资源（内存、cpu）占用造成浪费
- 一旦电路出现故障，传输中断



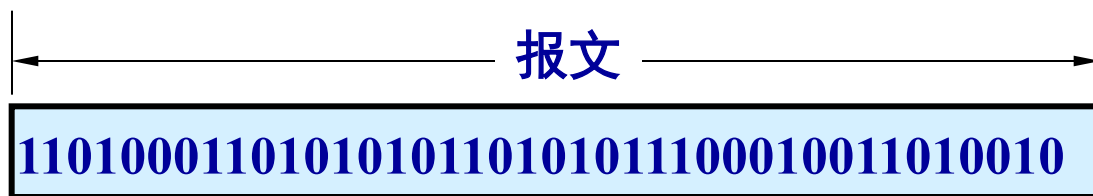
2. 分组交换的主要特点

- 分组交换则采用存储转发技术。
 - 路由器需要将整个数据包（分组）都收完整，然后提取目的地址信息，然后按照目的地址进行转发



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。

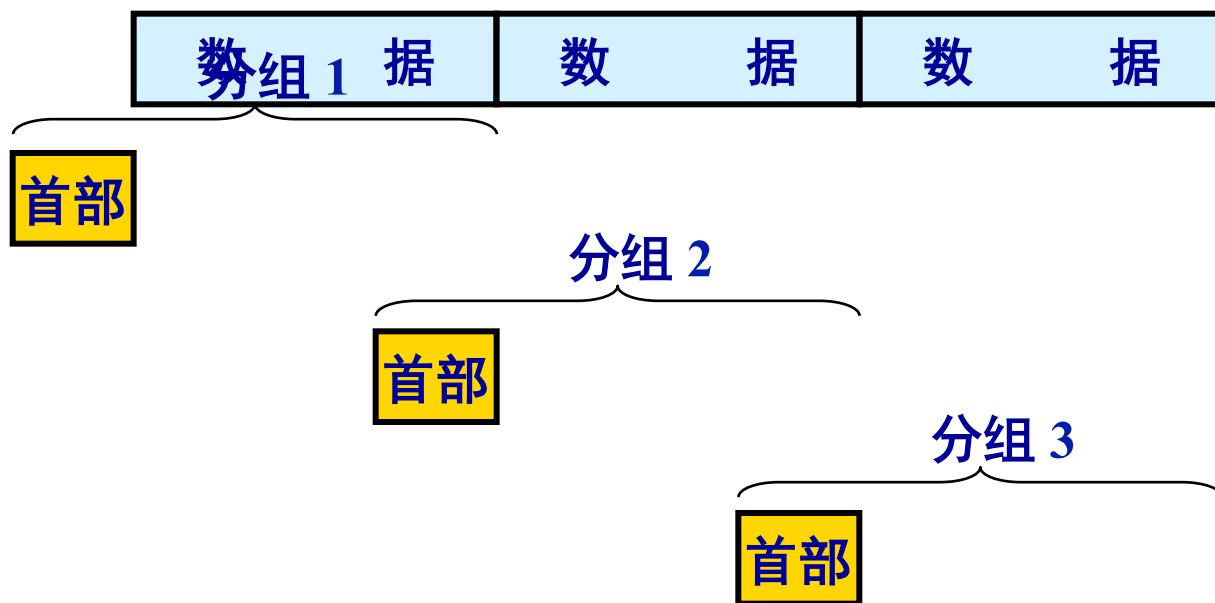


假定这个报文较长
不便于传输



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(packet)。

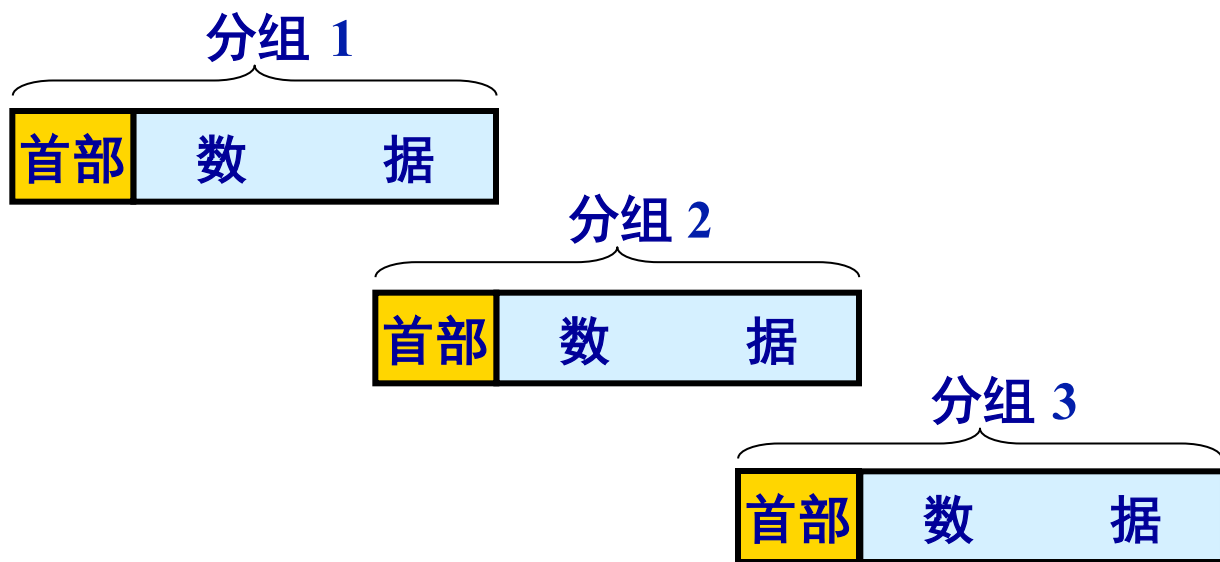


请注意：现在左边是“前面”



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）。



以分组为基本单位在网络中传送



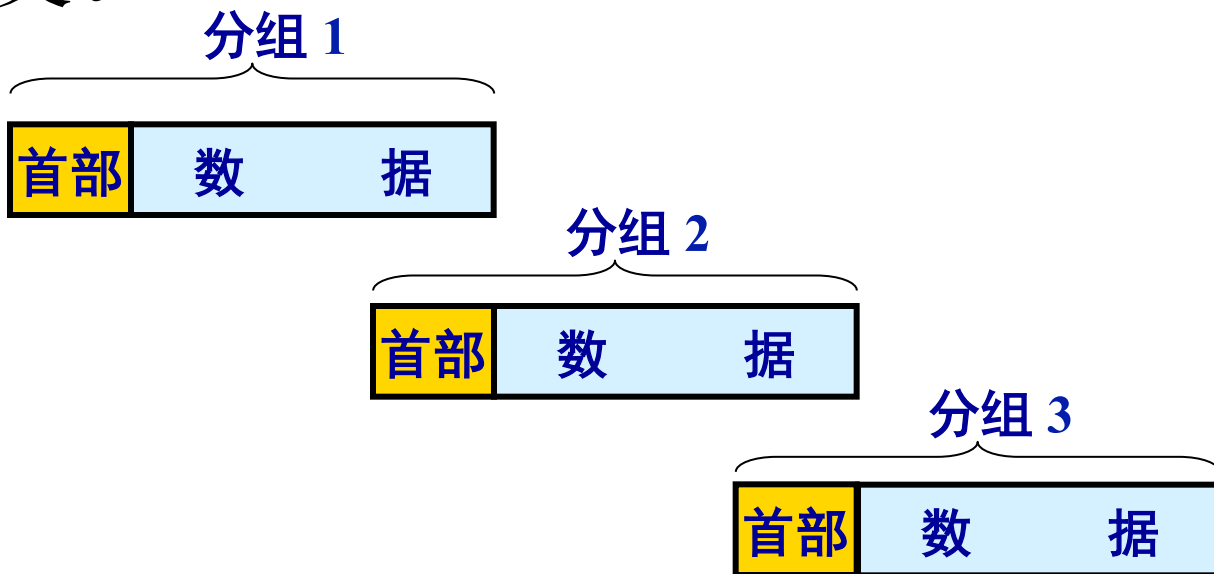
分组首部的重要性

- 每一个分组的首部都含有地址（诸如目的地址和源地址）等控制信息。
- 分组交换网中的结点交换机根据收到的分组首部中的地址信息，把分组转发到下一个结点交换机。
- 每个分组在互联网中独立地选择传输路径。
- 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。

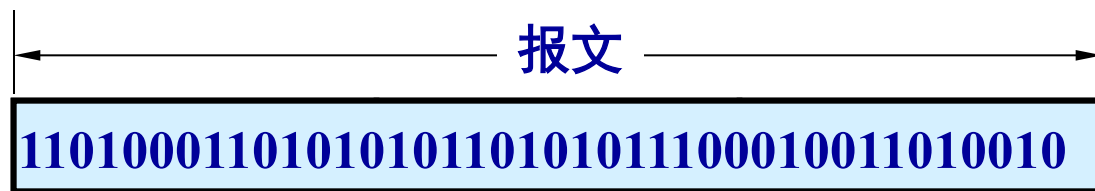


收到的数据



最后还原成原来的报文

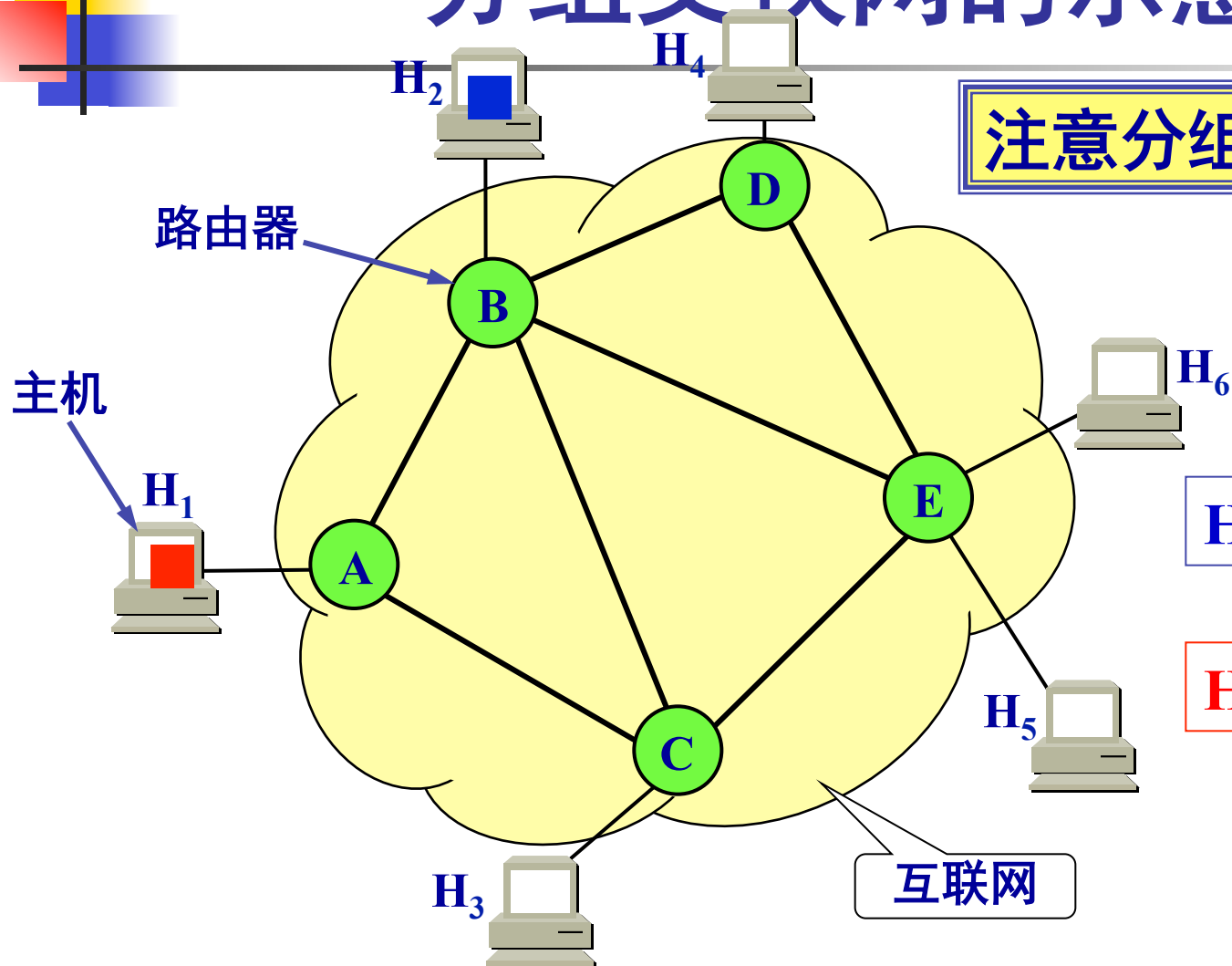
- 最后，在接收端把收到的数据恢复成为原来的报文。



- 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



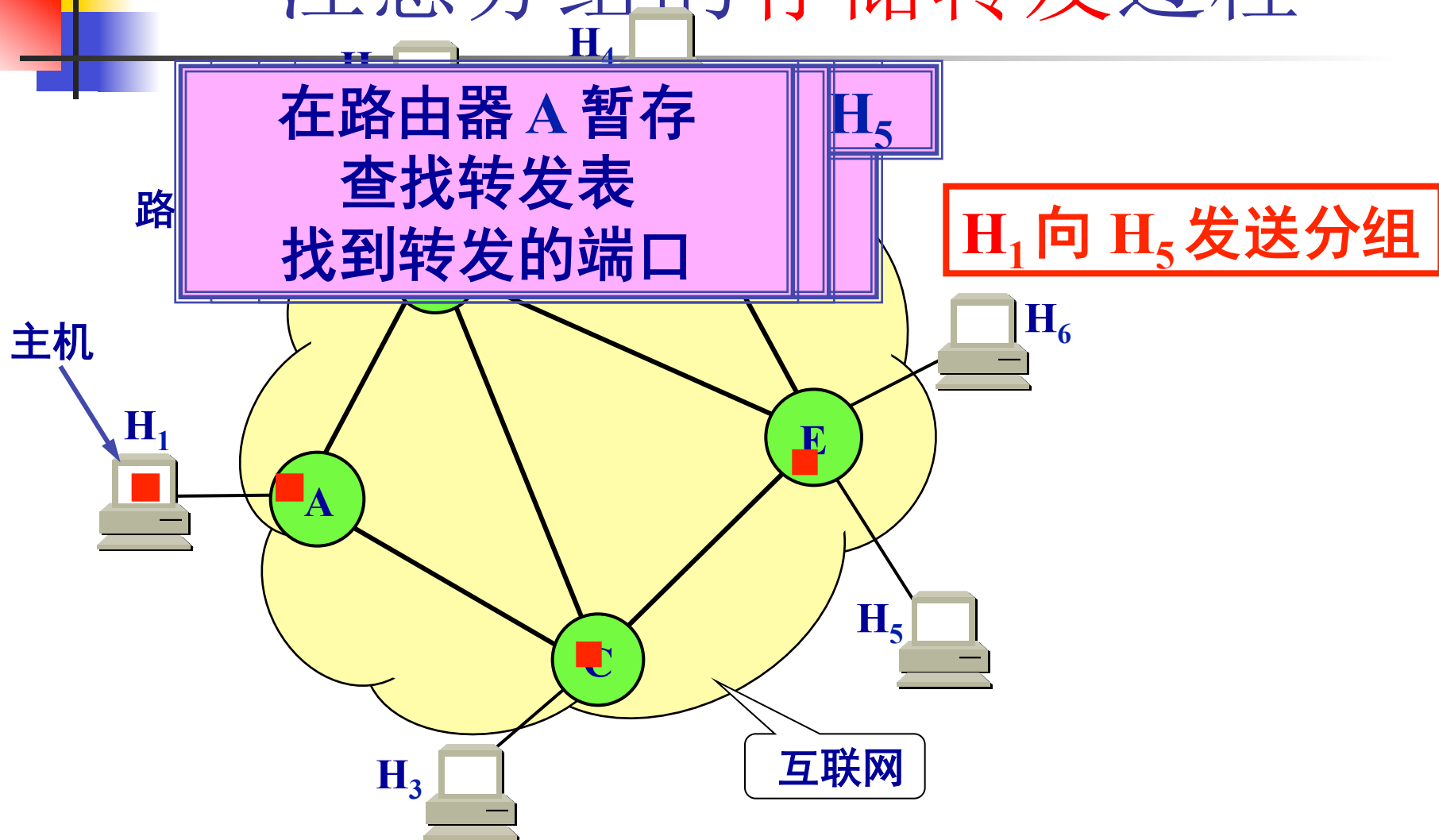
注意分组路径的变化!

H₂ 向 H₆ 发送分组

H₁ 向 H₅ 发送分组



注意分组的存储转发过程



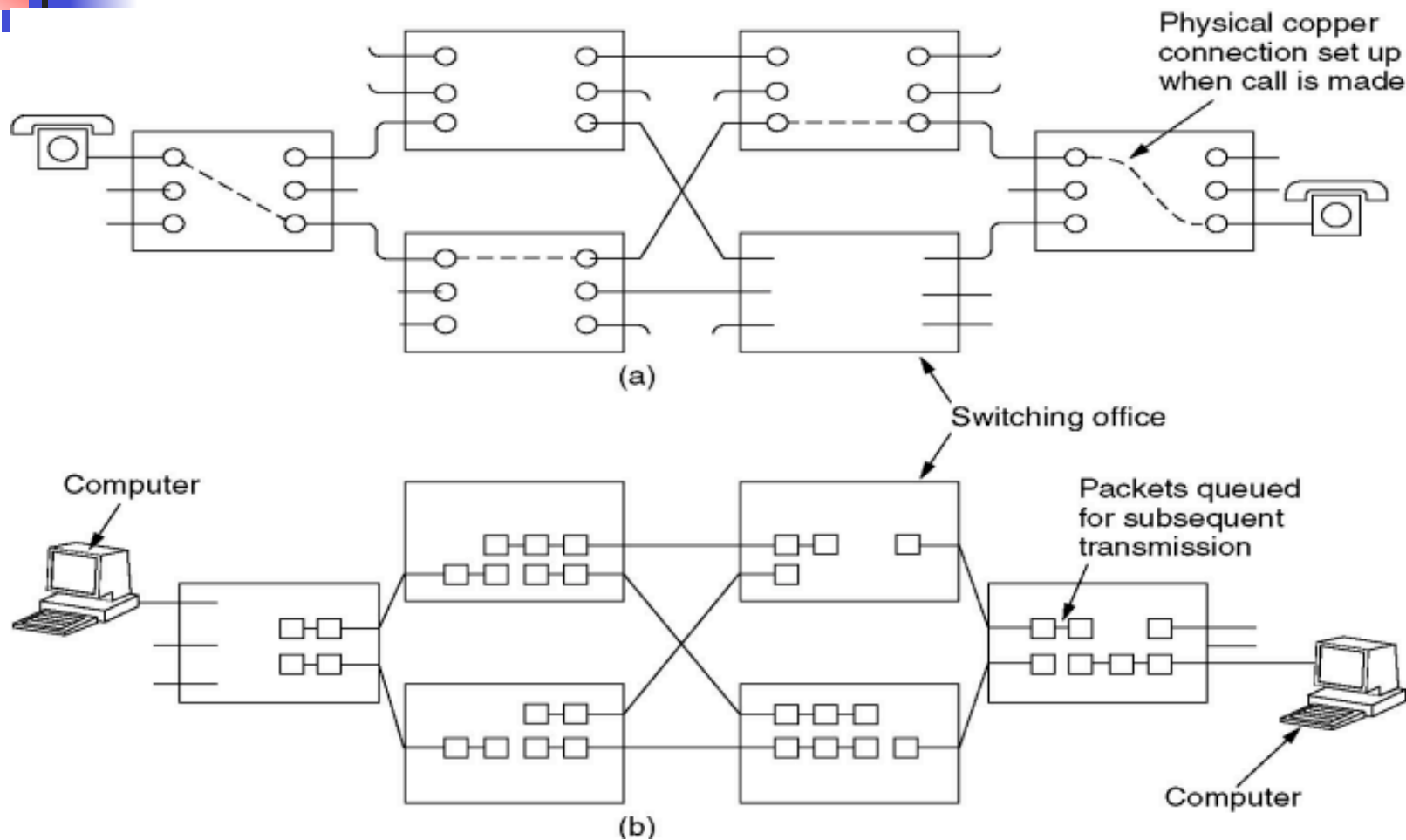


路由器

- 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。



电路交换和分组交换





分组交换

■ 特点

- 无需建立电路，有数据包就直接发出去
- 每个数据包包含目的地地址，传输路径由路由
器根据这个地址来确定，也就是中间节
点（路由器）需要处理数据

■ 优点

- 网络强壮性（robust）
- 资源利用率高

■ 缺点

- 无可靠性保障：丢包、延时长、抖动



1.5 计算机网络的类别

- 看看我们有哪些网络：网络根据大小可分为

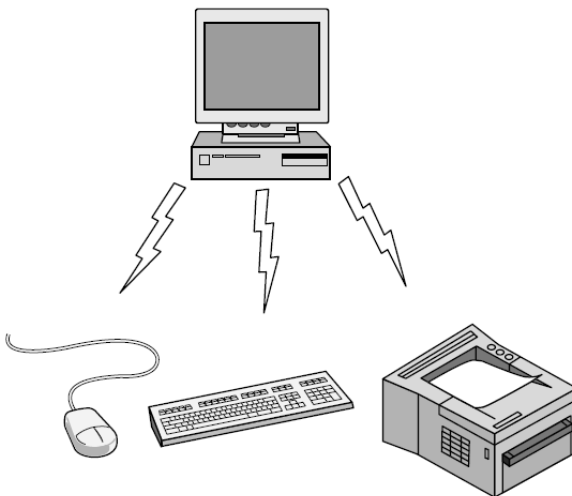
| Scale | Type |
|----------|--|
| Vicinity | PAN (Personal Area Network) » |
| Building | LAN (Local Area Network) » |
| City | MAN (Metropolitan Area Network) » |
| Country | WAN (Wide Area Network) » |
| Planet | The Internet (network of all networks) |



Personal Area Network (PAN)

个域网：围绕着个人的网络，通常通过蓝牙连接，如图

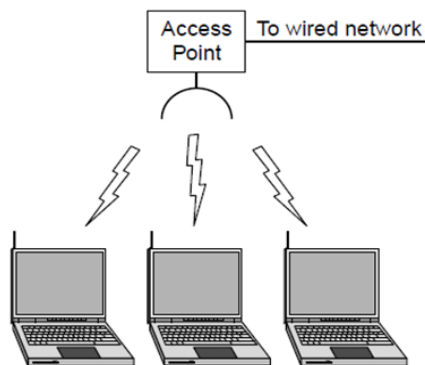
注：传感器网络一般也被认为是个域网



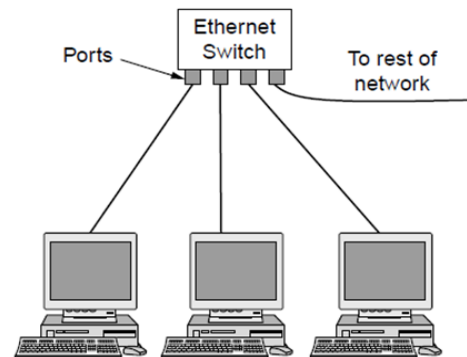


Local Area Networks (LAN)

- 局域网：通过将家里、办公室、公司或者建筑里的设备连接起来，形成一个局域网
- 局域网相关的概念：802.11, Access point, Base station, Ethernet, Ethernet Switch, Router



Wireless LAN
with 802.11

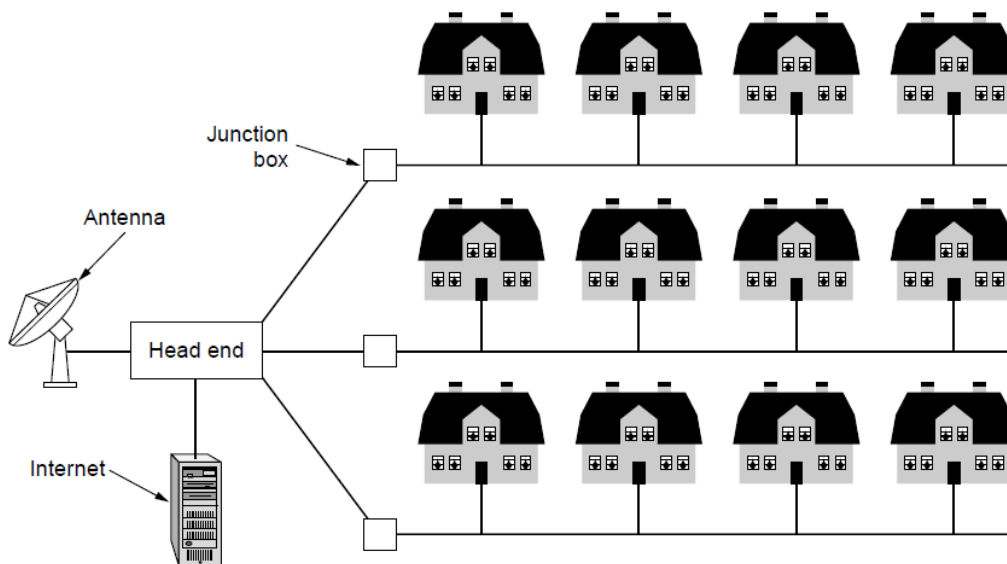


Wired LAN with
switched Ethernet



Metropolitan Area Networks (MAN)

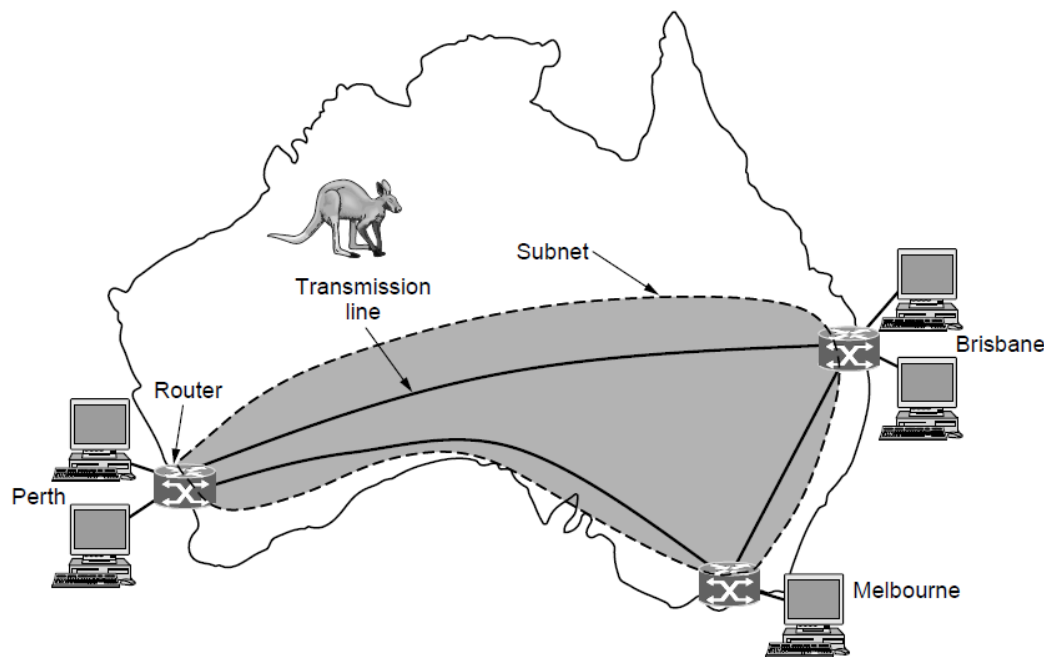
网络覆盖一个城市的范围：典型的网络如有线电视网





Wide Area Networks (WAN)(1)

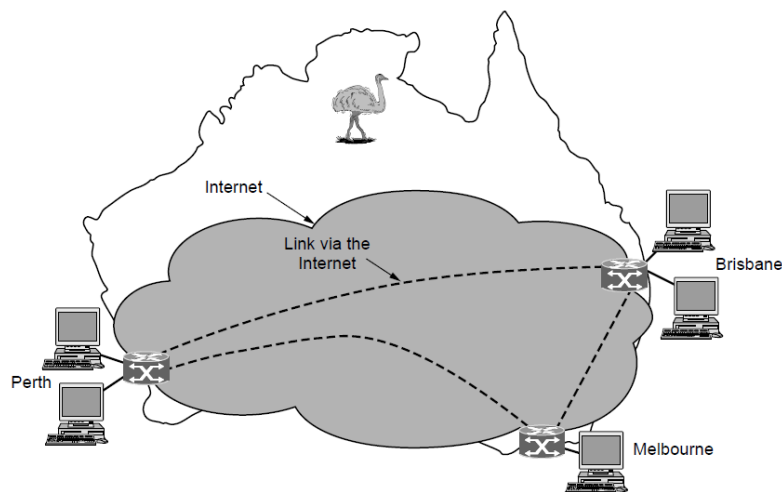
- 广域网的覆盖范围为一个国家
 - 如：一个在全国各地都有分公司的大公司的网络
 - 如：ISP网络





Wide Area Networks (2)

- 再来看看大公司的广域网是怎么形成的？
 - 一种简单的方法是租用一条专线，将分布在各地的网络连接起来
 - 另外一种方法是并不租用真的线路，但使用一种虚拟的线路，称为VPN





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

- 计算机网络的性能一般是指它的几个重要的性能指标，主要包括：
 - 速率
 - 带宽
 - 吞吐率
 - 时延
 - 时延带宽积
 - 往返时间 RTT
 - 利用率



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。
- 比特 (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。
- 速率是计算机网络中最重要的一个性能指标，指的是数据的传送速率，它也称为数据率 (data rate) 或比特率 (bit rate)。
- 速率的单位是 bit/s，或 kbit/s、Mbit/s、Gbit/s 等。例如 4×10^{10} bit/s 的数据率就记为 40 Gbit/s。
- 速率往往是指额定速率或标称速率，非实际运行速率。



2. 带宽

两种不同意义：

- “带宽” (bandwidth) 本来是指信号具有的**频带宽度**，其单位是赫（或千赫、兆赫、吉赫等）。
- 在计算机网络中，带宽用来表示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**”。单位是 **bit/s**，即“比特每秒”。

在“带宽”的上述两种表述中，前者为**频域**称谓，而后者为**时域**称谓，其本质是相同的。也就是说，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

- 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)

- 时延 (delay 或 latency) 是指数据从网络（或链路）的一端传送到另一端所需的时间。
- 有时也称为延迟或迟延。
- 网络中的时延由以下几个不同的部分组成：
 - (1) 发送时延
 - (2) 传播时延
 - (3) 处理时延
 - (4) 排队时延



4. 时延 (delay 或 latency)

■ (1) 发送时延

- 也称为传输时延。
- 发送数据时，数据帧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。

$$\text{发送时延} = \frac{\text{数据帧长度 (bit)}}{\text{发送速率 (bit/s)}}$$



4. 时延 (delay 或 latency)

■ (2) 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。
- 发送时延与传播时延有本质上的不同。
- 信号发送速率和信号在信道上的传播速率是完全不同的概念。

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



4. 时延 (delay 或 latency)

■ (3) 处理时延

- 主机或路由器在收到分组时，为处理分组（例如分析首部、提取数据、差错检验或查找路由）所花费的时间。

■ (4) 排队时延

- 分组在路由器输入输出队列中排队等待处理所经历的时延。
- 排队时延的长短往往取决于网络中当时的通信量。



4. 时延 (delay 或 latency)

- 数据在网络中经历的总时延就是发送时延 + 传播时延 + 处理时延 + 排队时延

必须指出，在总时延中，究竟是哪一种时延占主导地位，必须具体分析。



四种时延所产生的地方

在结点 A 中产生
处理时延和排队时延

假设从结点 A 向结点 B 发送数据

在发送器产生发送时延
(即传输时延)

在链路上产生
传播时延



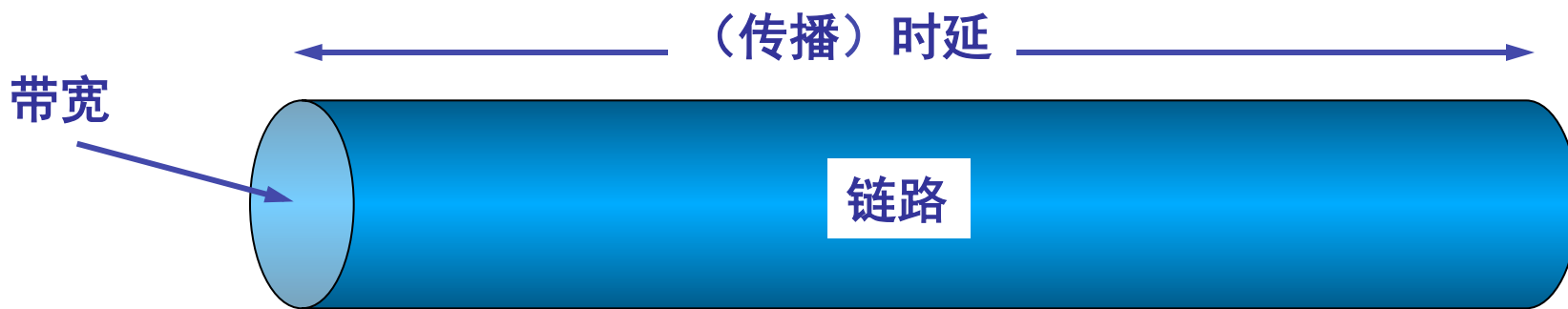
几种时延产生的地方不一样



5. 时延带宽积

- 链路的时延带宽积又称为以比特为单位的链路长度。

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



链路像一条空心管道

只有在代表链路的管道都充满比特时，链路才得到了充分利用。



6. 往返时间 RTT

- **往返时间**表示从发送方发送数据开始，到发送方收到来自接收方的确认，总共经历的时间。
- 在互联网中，往返时间还包括**各中间结点**的处理时延、排队时延以及转发数据时的发送时延。
- 当使用卫星通信时，往返时间 **RTT** 相对较长，是很重要的一个性能指标。



有效速率

- 链路带宽：50kbps；传播时延：250msec；数据长度：1000bits；采用应答（应答发送时延忽略不计）
 - $RTT=500$;
 - 数据发送时延：20ms
 - 整个数据从发送到接收应答（一个transaction）的延时是： $500+20=520ms$
 - 有效速率（有效带宽） $=20/520*50kbps=1.9kbps$
 - 如果想达到有效带宽50%，怎么办？



7. 利用率

- 分为信道利用率和网络利用率。
- 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。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。



时延与网络利用率的关系

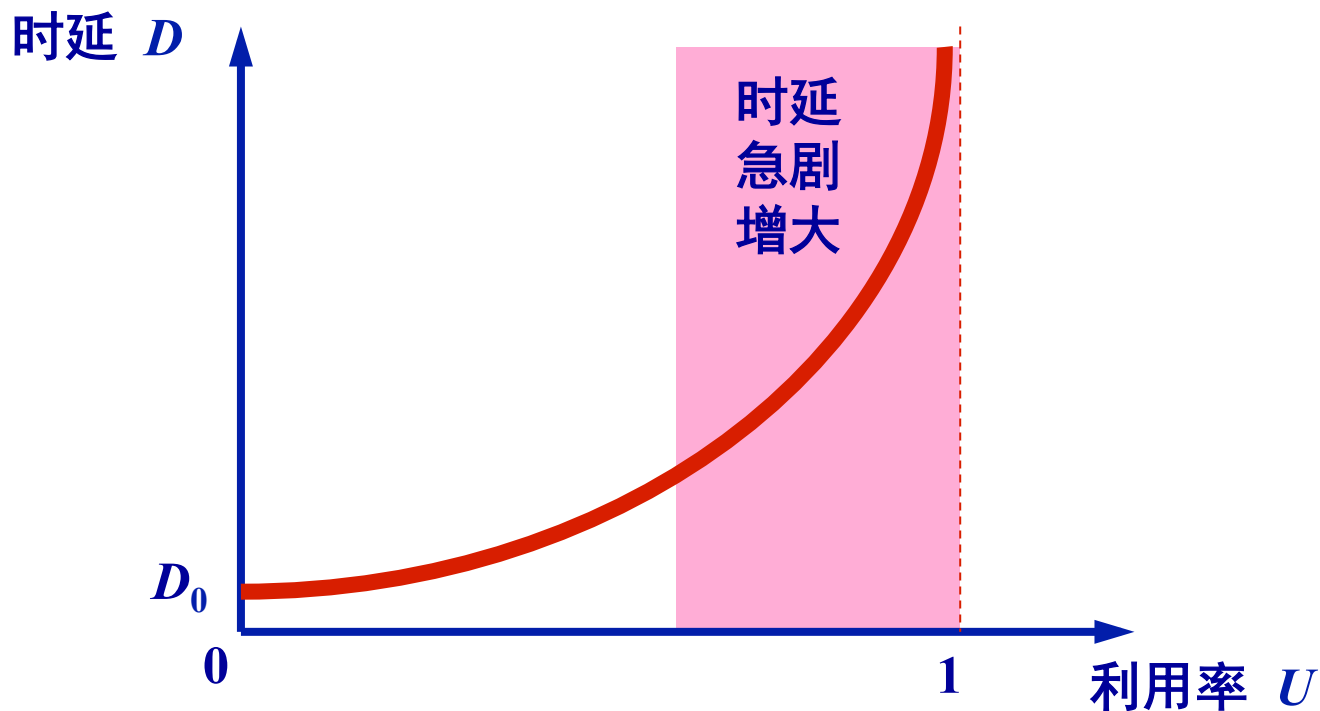
- 根据排队论的理论，当某信道的利用率增大时，该信道引起的时延也就迅速增加。
- 若令 D_0 表示网络空闲时的时延， D 表示网络当前的时延，则在适当的假定条件下，可以用下面的简单公式表示 D 和 D_0 之间的关系：

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

其中： U 是网络的利用率，数值在 0 到 1 之间。



时延与网络利用率的关系



当信道的利用率增大时，该信道引起的时延迅速增加。



1.6.2 计算机网络的非性能特征

- 一些非性能特征也很重要。它们与前面介绍的性能指标有很大的关系。主要包括：
 - 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

- 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、服务和访问点
- 1.7.5 TCP/IP 的体系结构



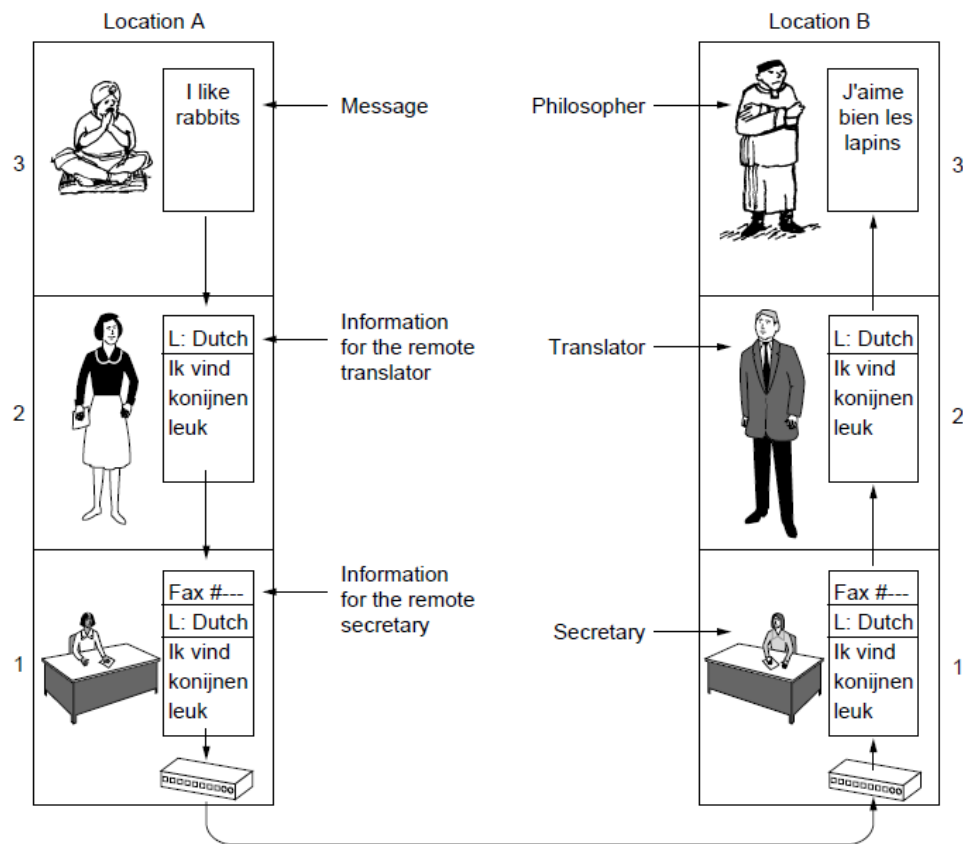
协议和服务

- 什么是协议：
 - 双方制定的需要遵守的规则。在计算机网络里的协议是两台机器为了能够通信而制定的一些规则
- 事实上，协议在平时的交流中也是无所不在的。而我们都默认遵守这种协议，使交流能够进行。
 - 首先使用同一种语言
 - 当某个人说的時候，另外一个人听，之后再回答
 - 如果听不清楚对方所说的，我们会要求对方再说一次
 - 如果我们觉得对方说的没有逻辑，就略过去了，或者要求对方再说一次



协议

- 先来看一个实际的通信例子
 - 一个讲英语的哲学家是如何同一个讲法语的哲学家沟通的
 - 他们都有一个以德语为母语的翻译，当然翻译都懂各自哲学家的语言
 - 秘书主要是将翻译的结果通过传真发给对方



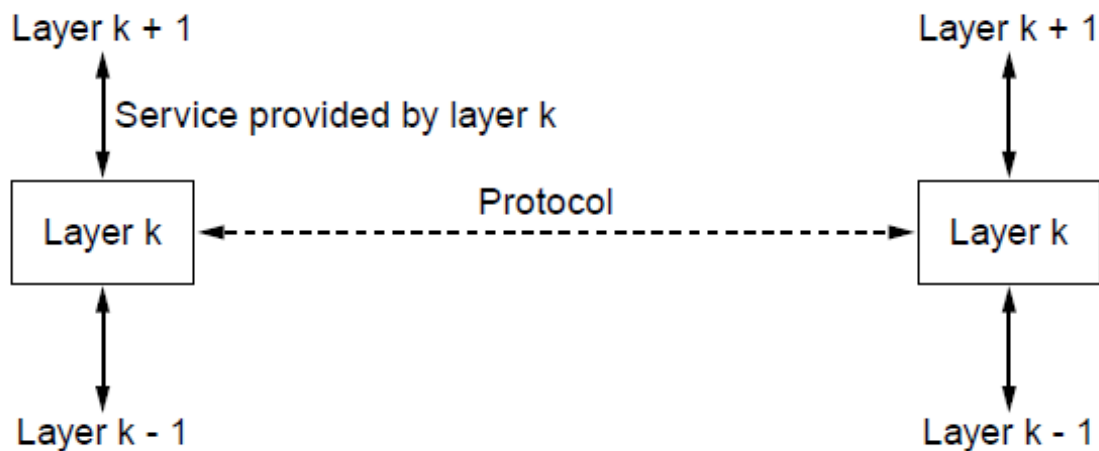
层的概念：对等层进行交流、只和相邻的层进行交互



协议和服务

□ 什么是服务：

- 服务是相对于层之间来说的，我们通常说一个层能给上层提供什么样的服务
 - 只能给上层提供
 - 通过原语的方式（**API**方式）
- 而协议是相对于对应的层来说的





协议和服务

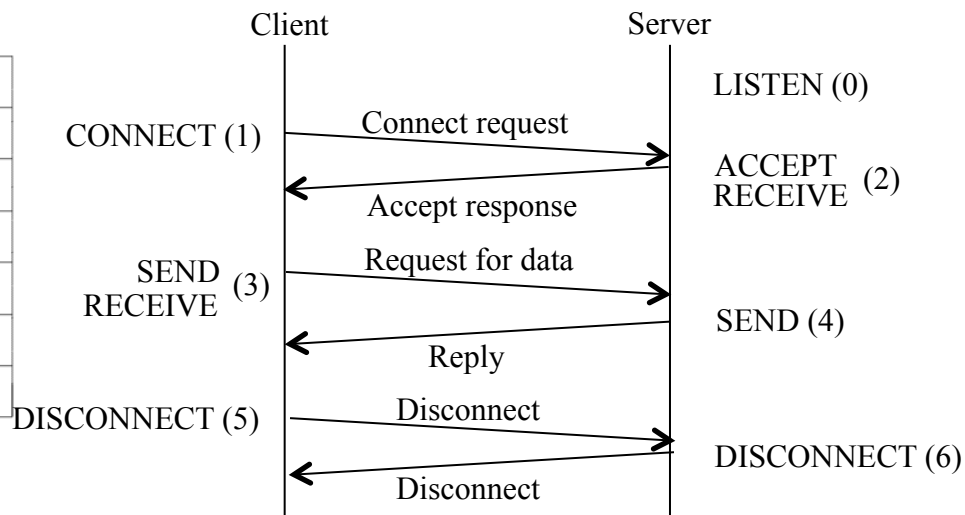
- 协议的实现保证了能够向上一层提供服务。
- 本层的服务用户**只能看见服务**而无法看见下面的协议。即下面的协议对上面的服务用户是**透明**的。
- 协议是“**水平的**”，即协议是控制对等实体之间通信的规则。
- 服务是“**垂直的**”，即服务是由下层向上层通过层间接口提供的。
- 上层使用**服务原语**获得下层所提供的服务。



服务原语

- 一层的服务通过原语的方式提供给上层，如传输层**TCP**的主要功能是为数据传输提供连接
 - 表格显示了连接的6个原语，当应用层（**TCP**的上层）需要通过**TCP**连接发送数据的时候，就可以调用这些原语

| Primitive | Meaning |
|------------|--|
| LISTEN | Block waiting for an incoming connection |
| CONNECT | Establish a connection with a waiting peer |
| ACCEPT | Accept an incoming connection from a peer |
| RECEIVE | Block waiting for an incoming message |
| SEND | Send a message to the peer |
| DISCONNECT | Terminate a connection |





1.7.2 协议与划分层次

- 计算机网络中的数据交换**必须遵守事先约定好的规则—协议。**
 - **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。
- 网络协议也是分层的。
- 网络协议中的层为其上层提供服务



网络协议的三个组成要素

- **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。

由此可见，网络协议是计算机网络的不可缺少的组成部分。



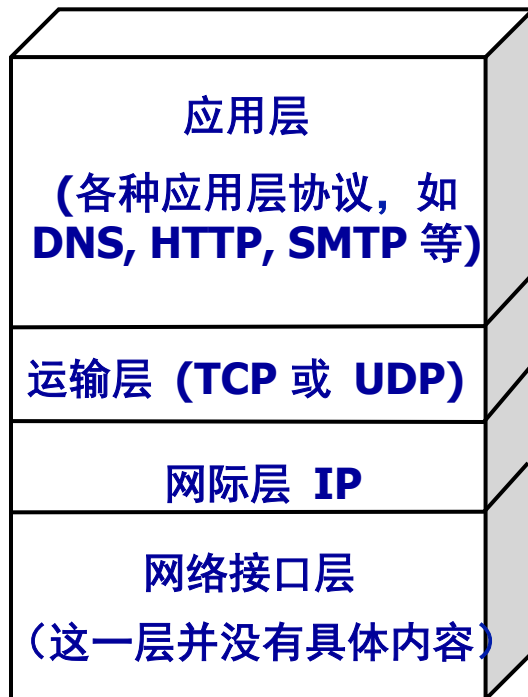
1.7.3 具有五层协议的体系结构

OSI 的体系结构



(a)

TCP/IP 的体系结构



(b)

五层协议的体系结构



(c)

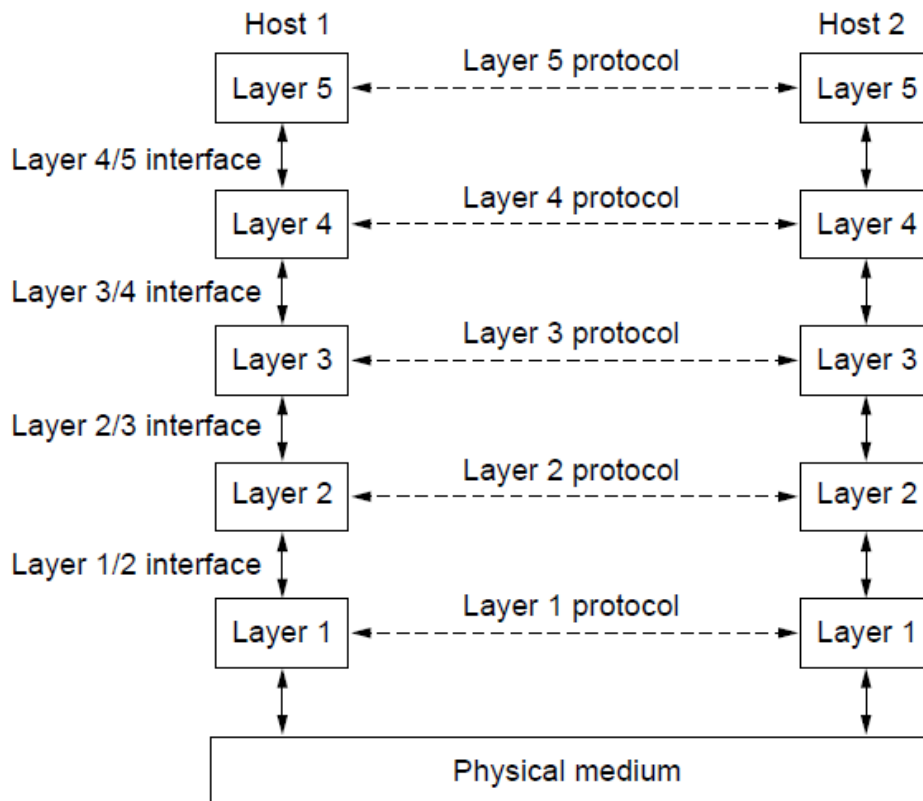
计算机网络体系结构:

(a) OSI 的七层协议; (b) TCP/IP 的四层协议; (c) 五层协议



5层协议

- 每层只和其对应的层交互
- 每层只和其下一层交流
- 下层功能通过接口（原语）的方式开发给上层
- 最下层将数据通过媒介（载体）发出去



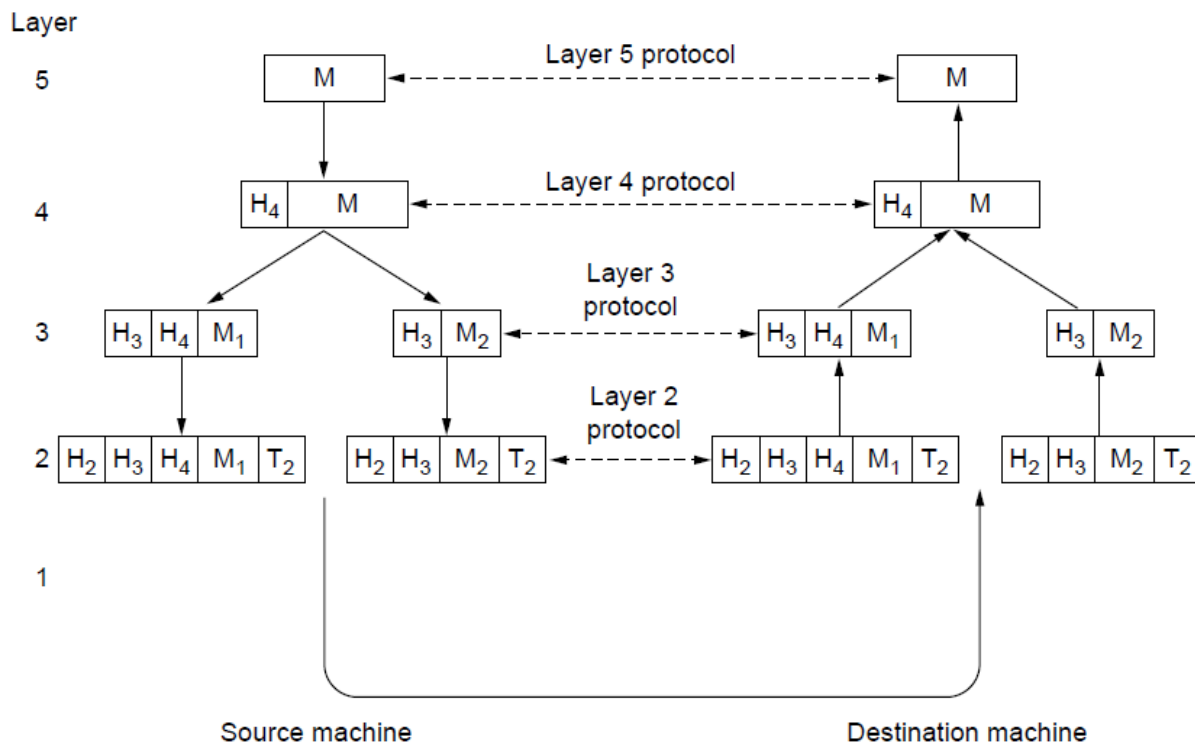
为什么要分层：

- 层即模块，分层实现模块；
- 模块整合灵活，如传输层有TCP和UDP两个协议，应用程序可以选择其中任意一个
- 通过分层，每层只需要和其下面的层交互



协议

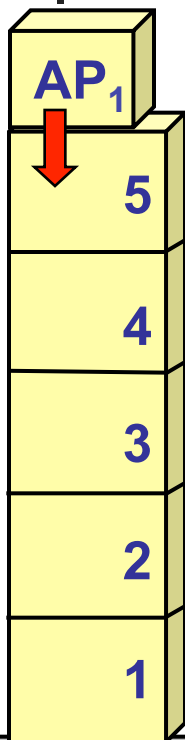
- 发送方每层都会添加一个包头用于数据包的控制和转发（第2层还会添加一个包尾），接收方每层会剥去相应的包头





主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



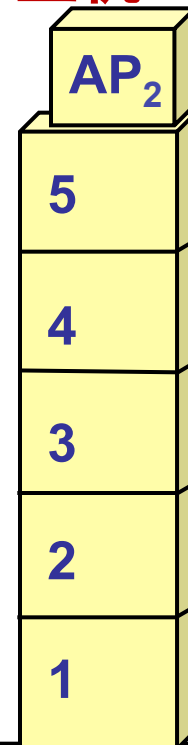
应用进程数据先传送到应用层

加上应用层首部，成为应用层 PDU

PDU (Protocol Data Unit): 协议数据单元。

OSI 参考模型把对等层次之间传送的数据单位称为该层的协议数据单元 PDU。

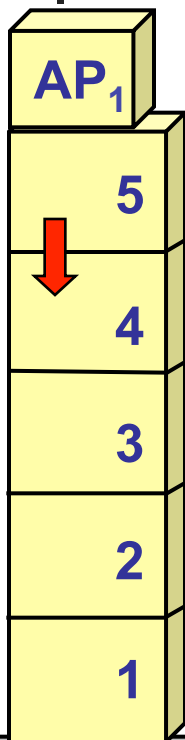
主机 2





主机 1 向主机 2 发送数据

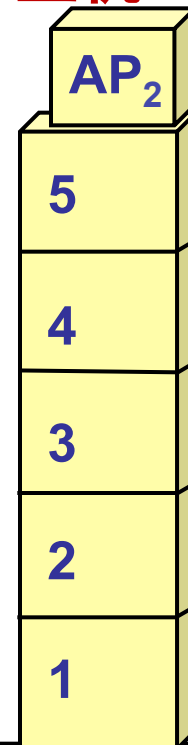
主机 1



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

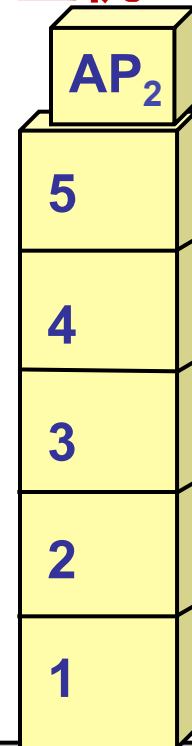
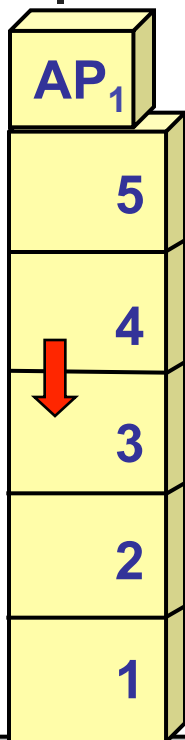




主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1

主机 2



运输层报文再传送到网络层

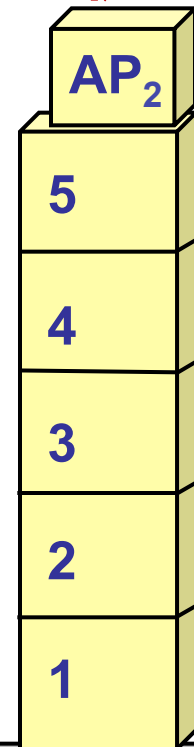
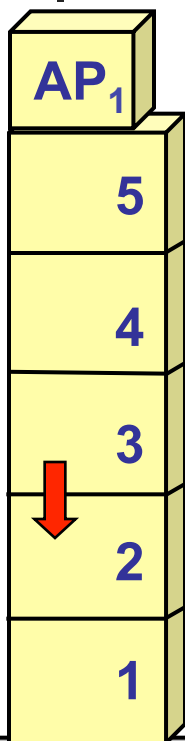
加上网络层首部，成为 IP 数据报（或分组）



主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1

主机 2



IP 数据报再传送到数据链路层

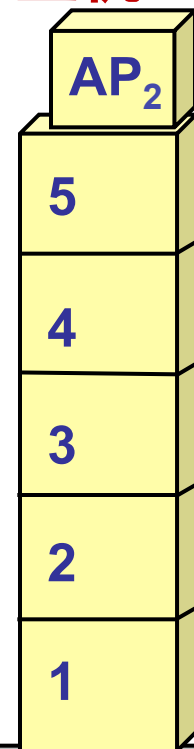
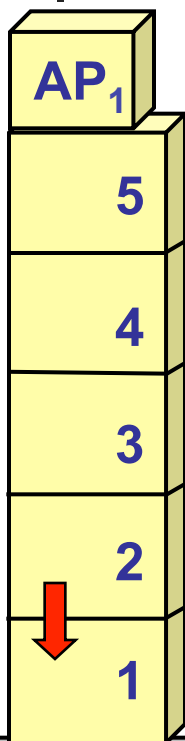
加上链路层首部和尾部，成为数据链路层帧



主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1

主机 2



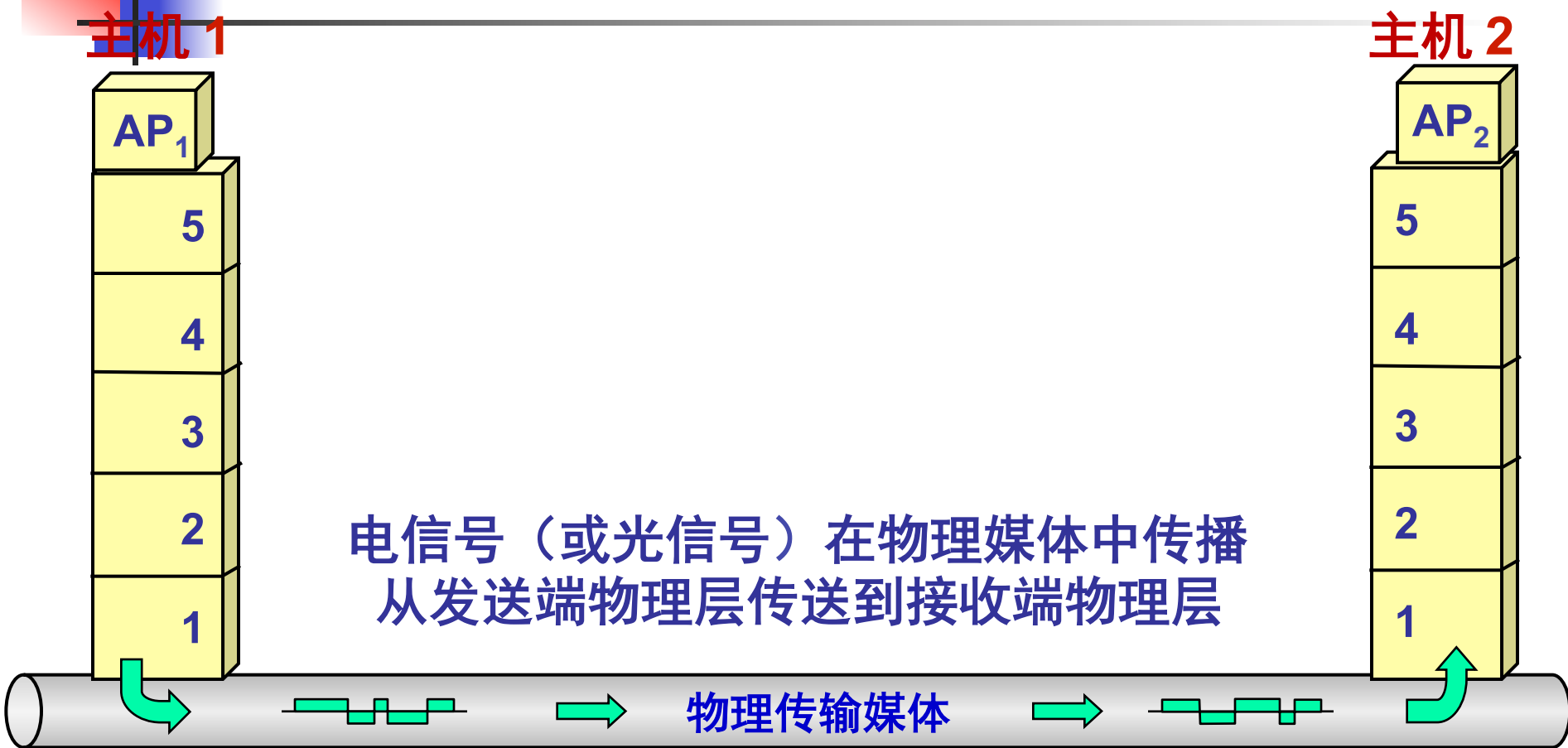
数据链路层帧再传送到物理层

最下面的物理层把比特流传送到物理媒体





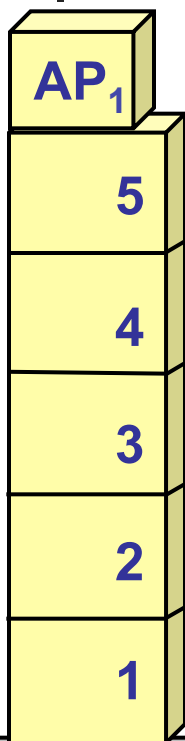
主机 1 向主机 2 发送数据



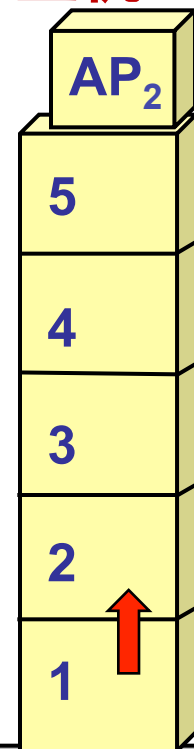


主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



主机 2

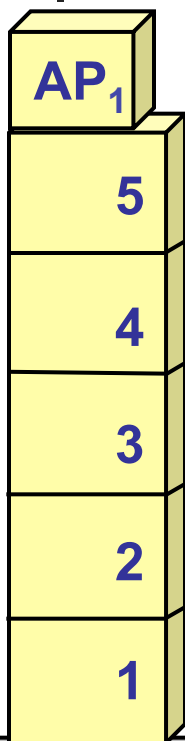


物理层接收到比特流，上交给数据链路层

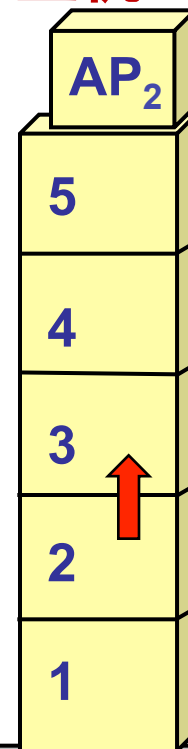


主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



主机 2

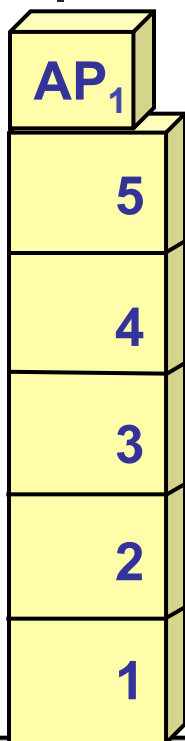


数据链路层剥去帧首部和帧尾部
取出数据部分，上交给网络层

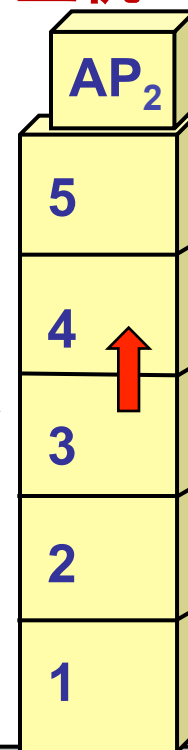


主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



主机 2

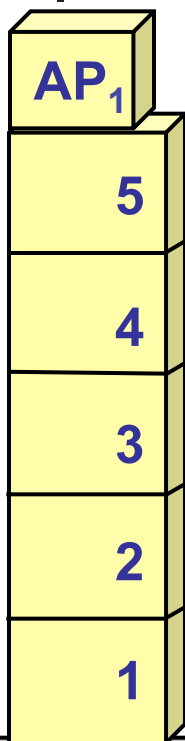


网络层剥去首部，取出数据部分
上交给运输层

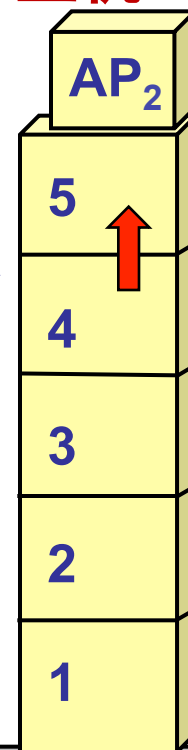


主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



主机 2

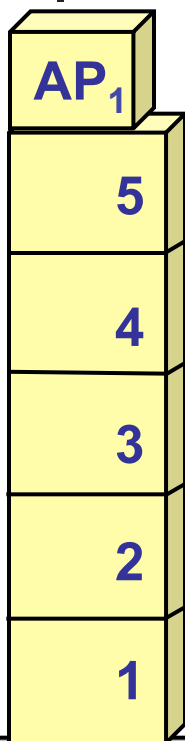


运输层剥去首部，取出数据部分
上交给应用层



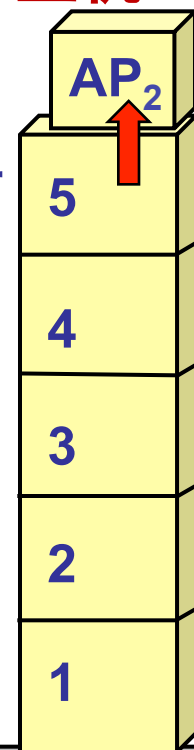
主机 1 向主机 2 发送数据

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

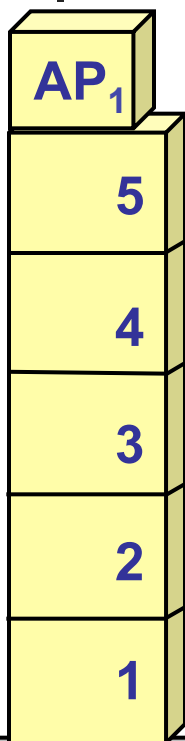
主机 2





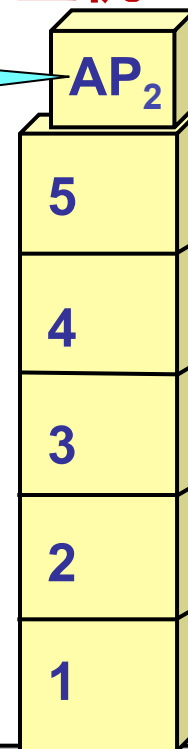
主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



我收到了 AP_1 发来的
应用程序数据！

主机 2

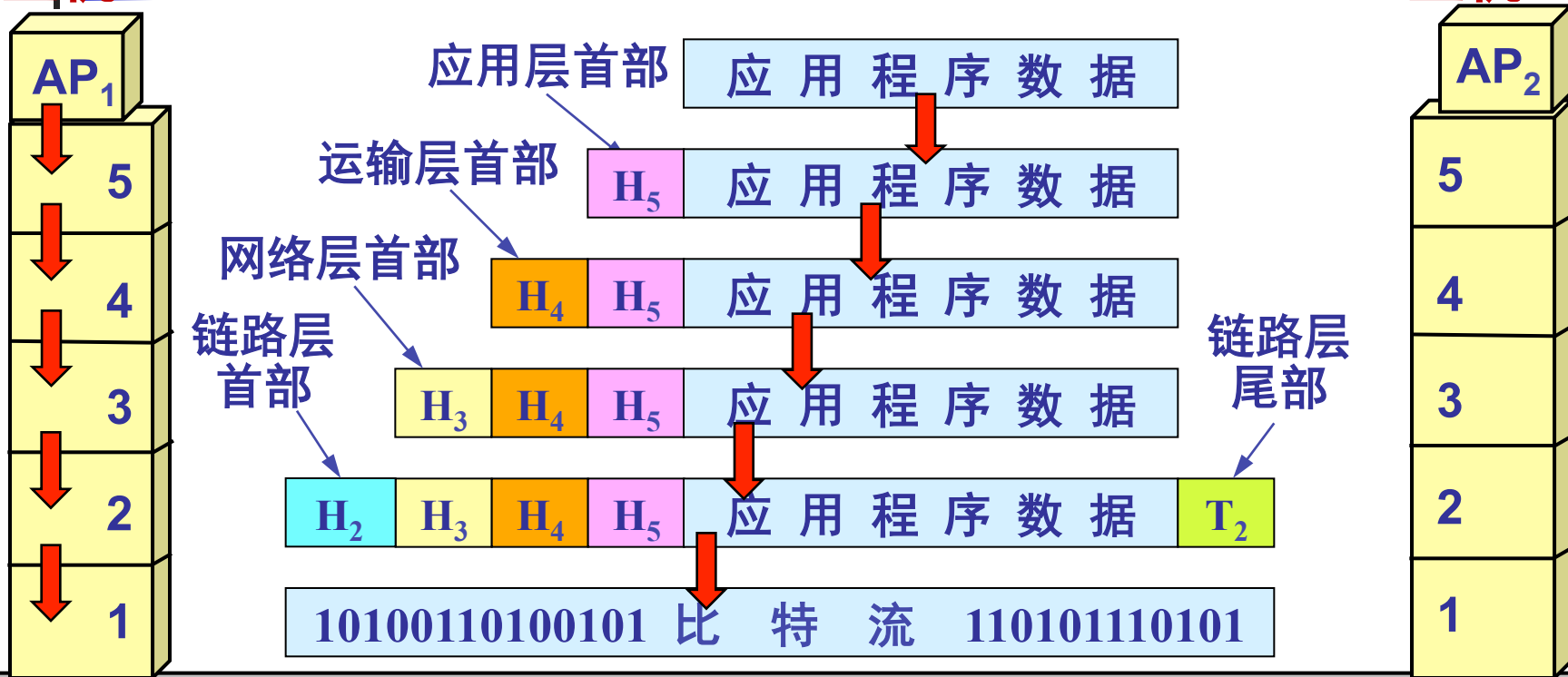




主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1

主机 2



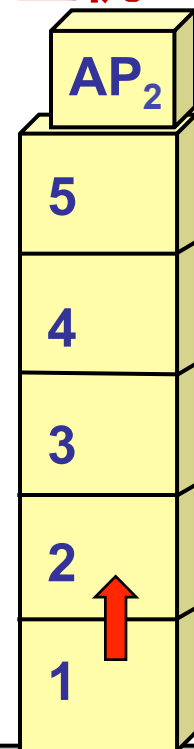
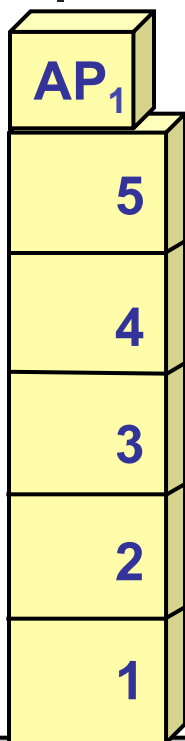
注意观察加入或剥去首部（尾部）的层次



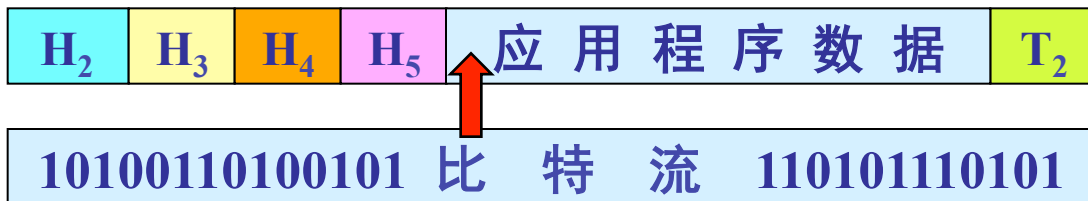
主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1

主机 2



主机 2 的物理层收到比特流后
交给数据链路层

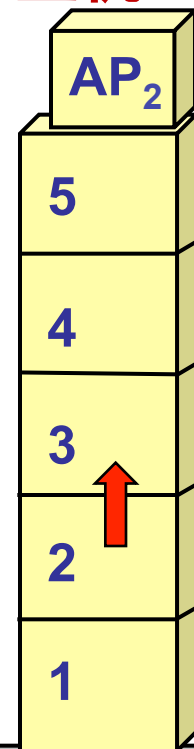
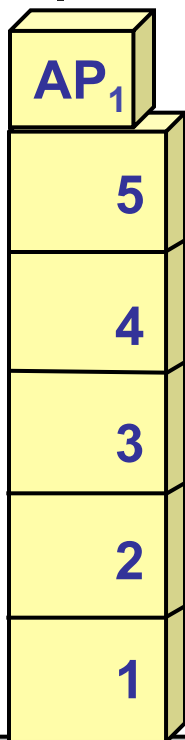




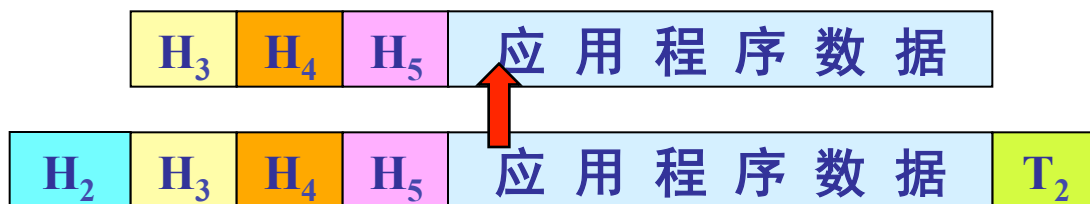
主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1

主机 2



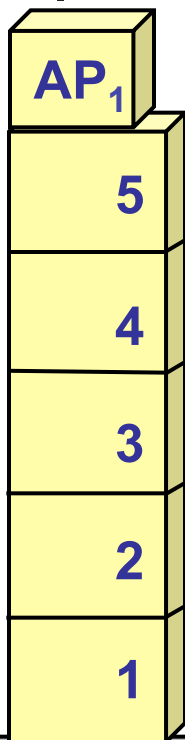
数据链路层剥去帧首部和帧尾部后
把帧的数据部分交给网络层



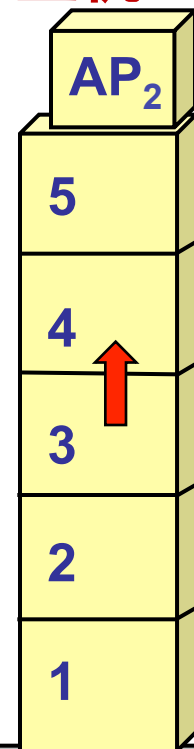


主机 1 向主机 2 发送数据

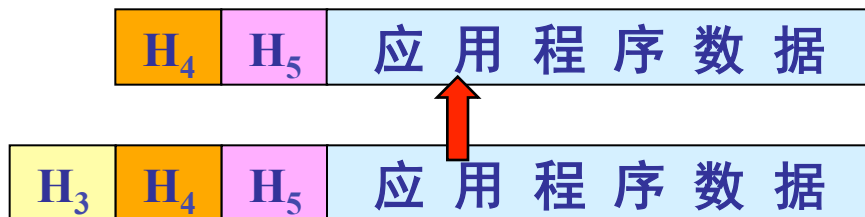
主机 1



主机 2



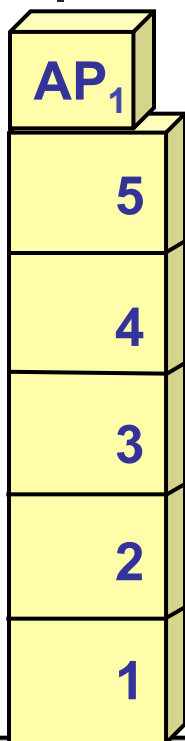
网络层剥去分组首部后
把分组的数据部分交给运输层



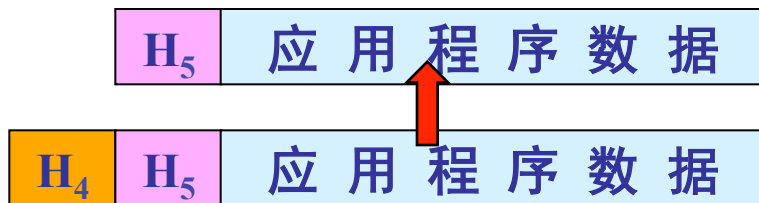


主机 1 向主机 2 发送数据

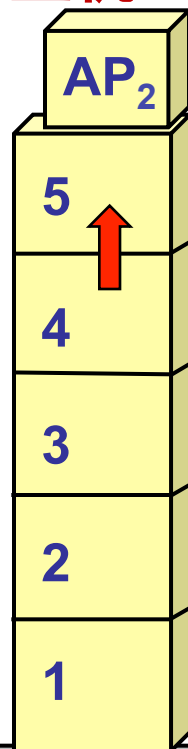
主机 1



运输层剥去报文首部后
把报文的数据部分交给应用层



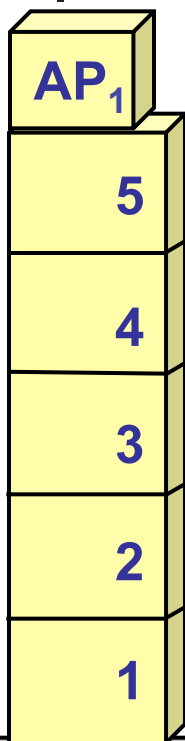
主机 2



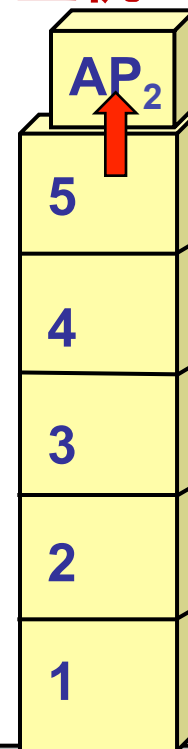


主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



主机 2



应用程序数据



H_5

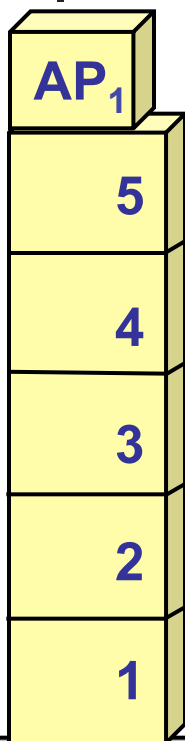
应用程序数据

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



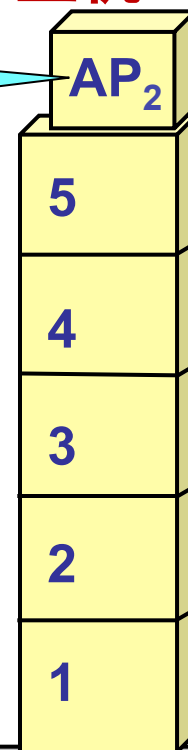
主机 1 向主机 2 发送数据

主机 1



我收到了 AP_1 发来的
应用程序数据！

主机 2





【例1-1】著名的协议举例

- 占据东、西两个山顶的蓝军 1 和蓝军 2 与驻扎在山谷的白军作战。其力量对比是：单独的蓝军1或蓝军2打不过白军，但蓝军 1 和蓝军 2 协同作战则可战胜白军。现蓝军 1 拟于次日正午向白军发起攻击。于是用计算机发送电文给蓝军 2。但通信线路很不好，电文出错或丢失的可能性较大（没有电话可使用）。因此要求收到电文的友军必须送回一个确认电文。但此确认电文也可能出错或丢失。试问能否设计出一种协议使得蓝军 1 和蓝军 2 能够实现协同作战，因而一定（即 100 %而不是 99.999 ...%）取得胜利？



武汉大学

WUHAN UNIVERSITY

明日正午进攻，如何？

同意

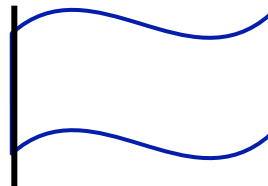
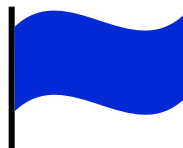
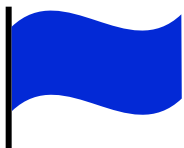
收到“同

这样的协议无法实现！

收到：收到“同意”

...

...





结论

- 这样无限循环下去，两边的蓝军都始终无法确定自己最后发出的电文对方是否已经收到。
- 没有一种协议能够使蓝军 100% 获胜。
- 这个例子告诉我们，看似非常简单的协议，设计起来要考虑的问题还是比较多的。



协议对数据的处理

- 看看网络协议怎么处理数据的（也就是前面说的如何对数据进行包装的，即如何加header）？拿传感器网络举个例子

- 一个机器收集环境亮度的数据，并希望把这些数据发给对方，如下：

136...137...137...138...138...138...139...135...128...110...125...
130...136...

非常简单，只要对方能明白这些数据代表的明亮程度就可以了

- 如果复杂一点，同时发亮度和温度，怎么做？

136...14...137...14...137...14...138...14...138...15...138...15...13
9...15...

对方应可以区分哪些是温度，哪些是亮度，如果这样呢

...
137...137...138...137...138...138...139...138...138...138...
139...139...138...

怎么办？

255...136...14...255...137...14...255...137...14...255...138...14...
255...138...15...

start byte



协议对数据的处理

- 如果有的时候我们希望传两个数据（亮度和温度），而有的时候三个数据（亮度、温度和湿度）

我们需要明确的告诉对方数据的长度

255...**2**...136...14...255...**3**...137...14...87...255...**3**...
137...14...89...

Length byte

- 再复杂一点，有的时候传（亮度、温度和湿度）三个数据，有的时候传（风速、气压、雨量）三个数据

255...3...**1**...137...14...87...255...3...**2**...119...28...54...

Contents ID

- 有时候数据会传错了，这个时候需要加一些东西用于纠错

255...2...2...28...54...**233**

Checksum



一个实际的数据

- 应用层、传输层（UDP）、网络层、链路层（Ethernet）

0000 00 b0 c4 d2 ed af 00 21 27 18 99 5b 08 00 45 00

0010 00 c8 0f 54 00 00 80 11 bc 7e 0a 01 2d 0e 0a 01

0020 2d 43 13 88 27 10 00 b4 4e ad 80 08 1f 84 13 b2

0030 0c 2c 7d 52 fb 5e d5 d5 d5 d5 d5 d5 d5 d5 d5 d5



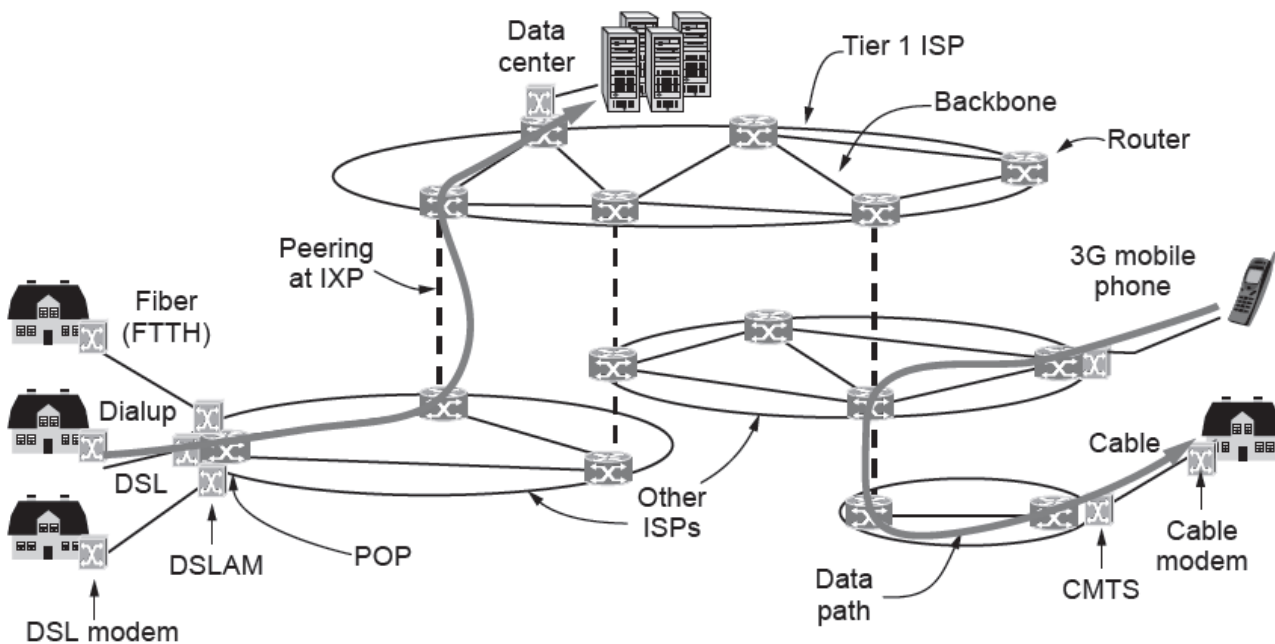
一些实际的网络

- Internet
- 移动网络
- 无线局域网：802.11
- 传感器网络



Internet

- 前身是美国军方的APPANET网络，后演进成今天的Internet





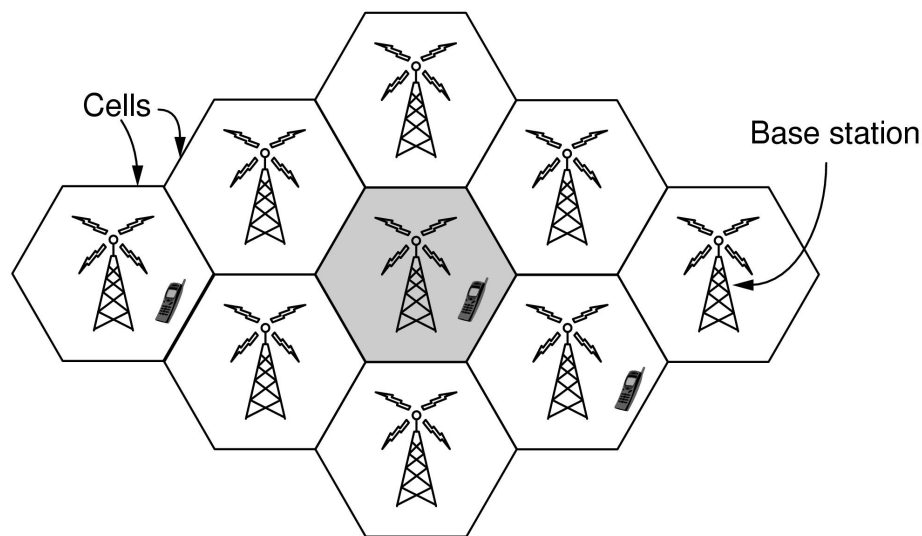
Internet

- 目前Internet由下面的部分组成
 - Internet的骨干网（backbone）是由ISP提供的（ISP又分为多级）
 - ISP的网络连到上级或者对等ISP的IXP（Internet eXchange Point），
 - 在每个ISP网络中，路由器（router）进行数据转发
 - ISP网络之间，数据转发是通过商业合同
 - 用户可通过多种方式连入Internet，如：Cable，DSL，FTTH，3G/4G等等
 - 网络里有大量的服务器（数据中心，cloud）
 - 大多数Internet的数据来自于服务器（特别是video）
 - 整个架构还在发展中



移动网络

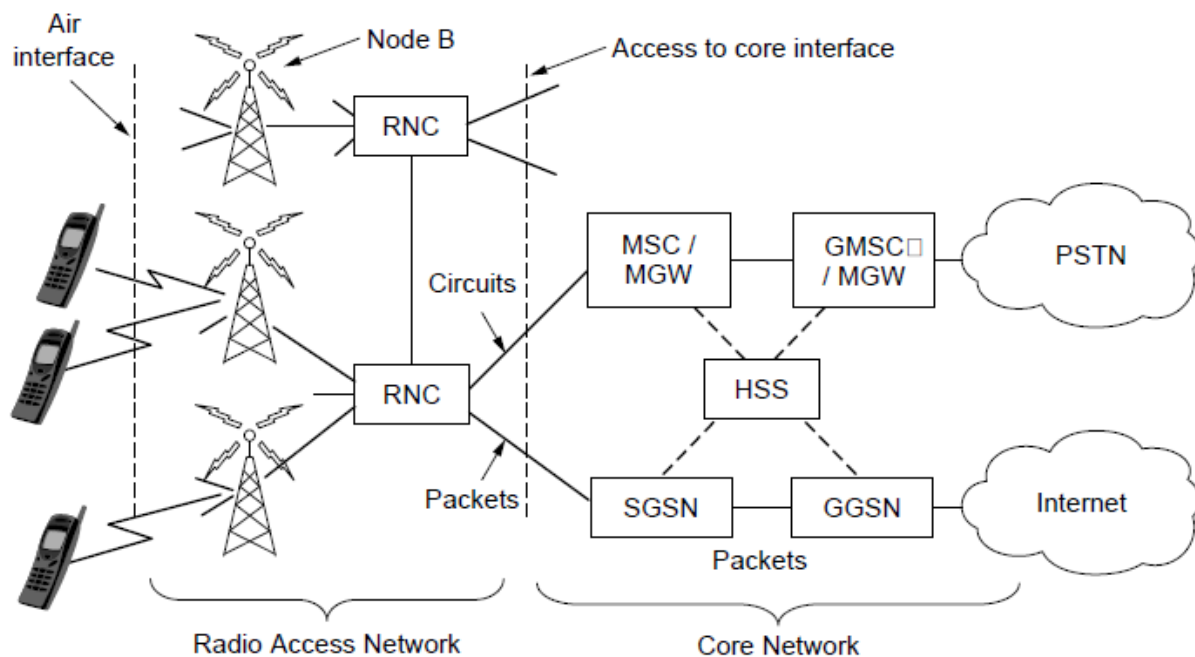
- 也叫蜂窝网，因移动网的覆盖范围由一个个蜂窝组成，每个蜂窝由一个基站形成





移动网络

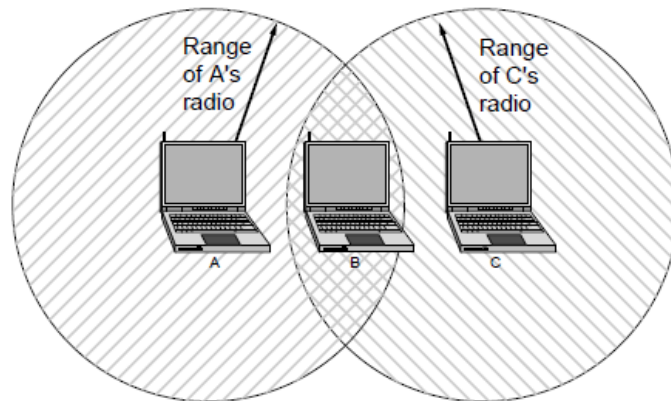
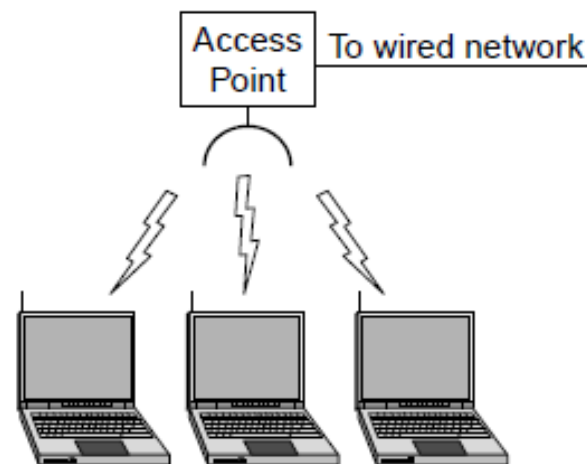
■ 移动网络的架构





无线网

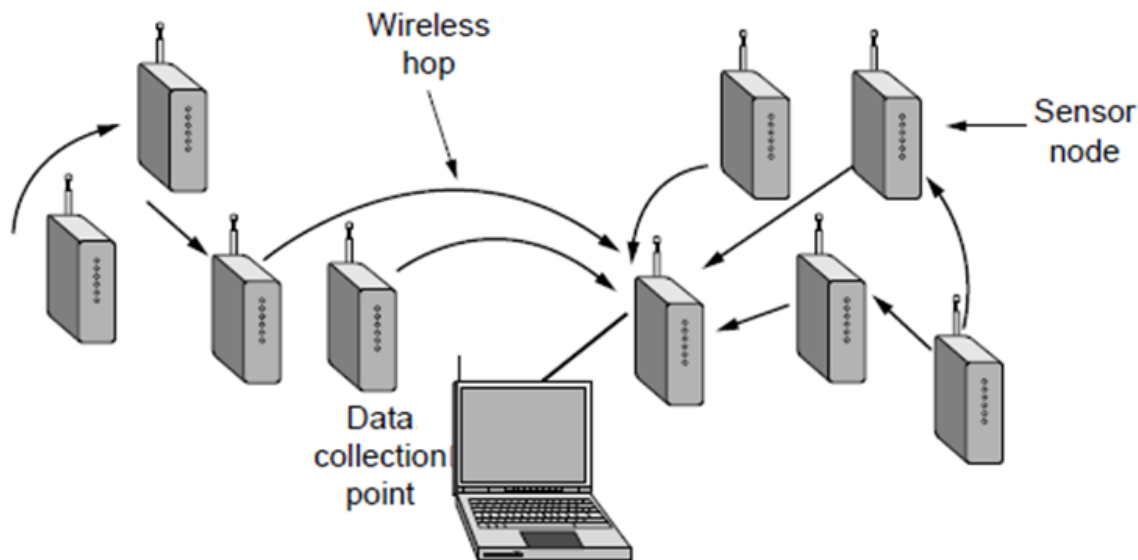
- 主要指802.11
 - 终端通过802.11连接到一个AP，从而连到Internet
 - 无线网络的覆盖范围
 - 只有处于某一设备的覆盖范围内，才能与这个设备通信





传感器网络

- 传感网采集数据，并通过无线将数据集中到汇集节点





度量单位

主要的度量前缀:

| Prefix | Exp. | prefix | exp. |
|--------|--------|---------------|-----------|
| K(ilo) | 10^3 | m(illi) | 10^{-3} |
| M(ega) | 10^6 | μ (micro) | 10^{-6} |
| G(iga) | 10^9 | n(ano) | 10^{-9} |

- Use powers of 10 for rates, powers of 2 for storage
 - E.g., 1 kbps = 10^3 = 1,000 bps, 1 KB = 2^{10} = 1024 bytes
- “B” is for bytes, “b” is for bits



基本概念

- 主机：终端设备
- 节点：主机、路由器、交换机等
- 链路：两个直接相连的节点的边
- 邻居：直接相连的节点互为邻居
- 点对点通信：两个直接相连的节点的通信
- 端对端通信：终端之间的通信
- 广播：数据发给所有其他节点