



计算机网络复习

计算机学院
黄益民



考试内容

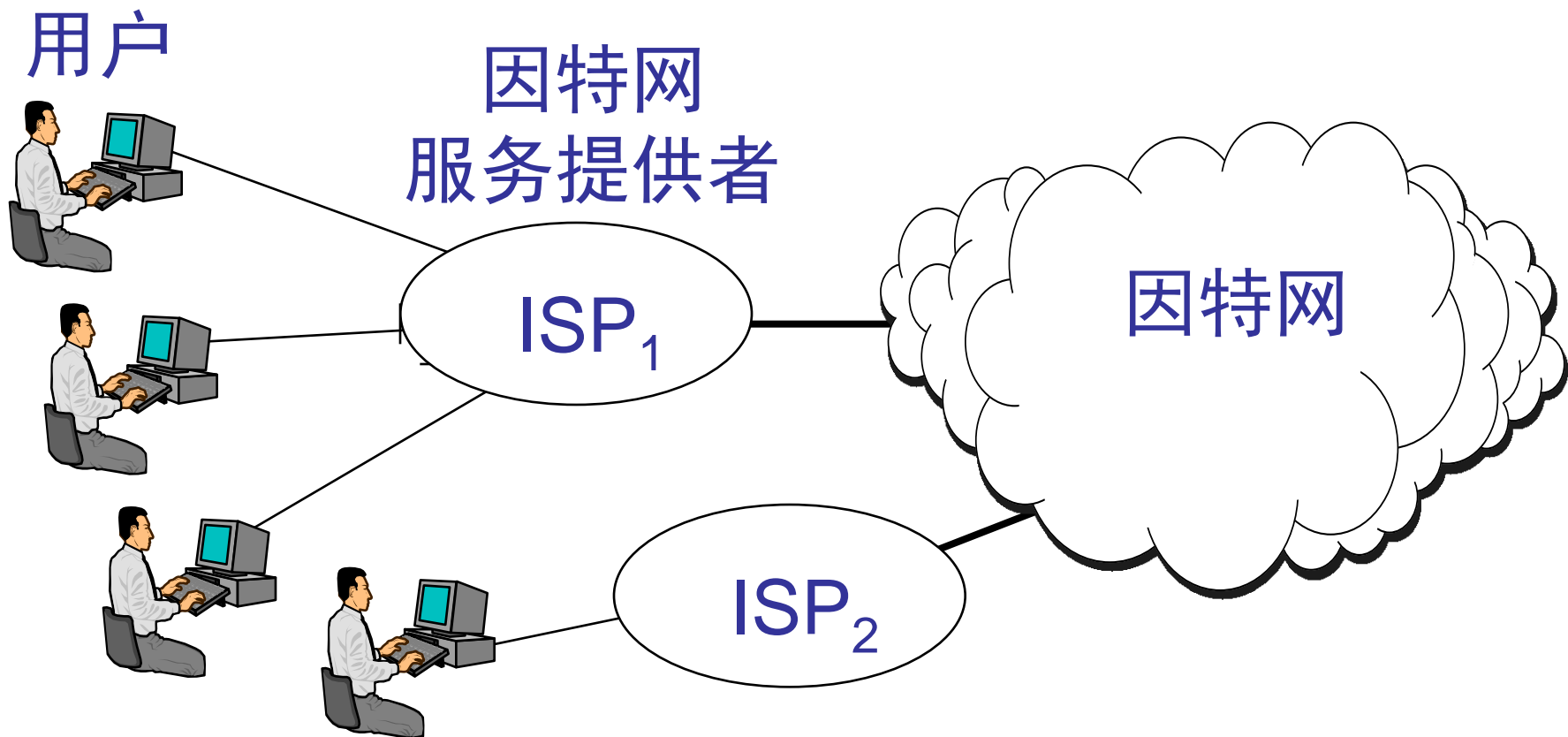
- 第一章 概述
- 第二章 物理层
- 第三章 数据链路层
- 第四章 网络层
- 第五章 运输层
- 第六章 应用层



Ch1 概述

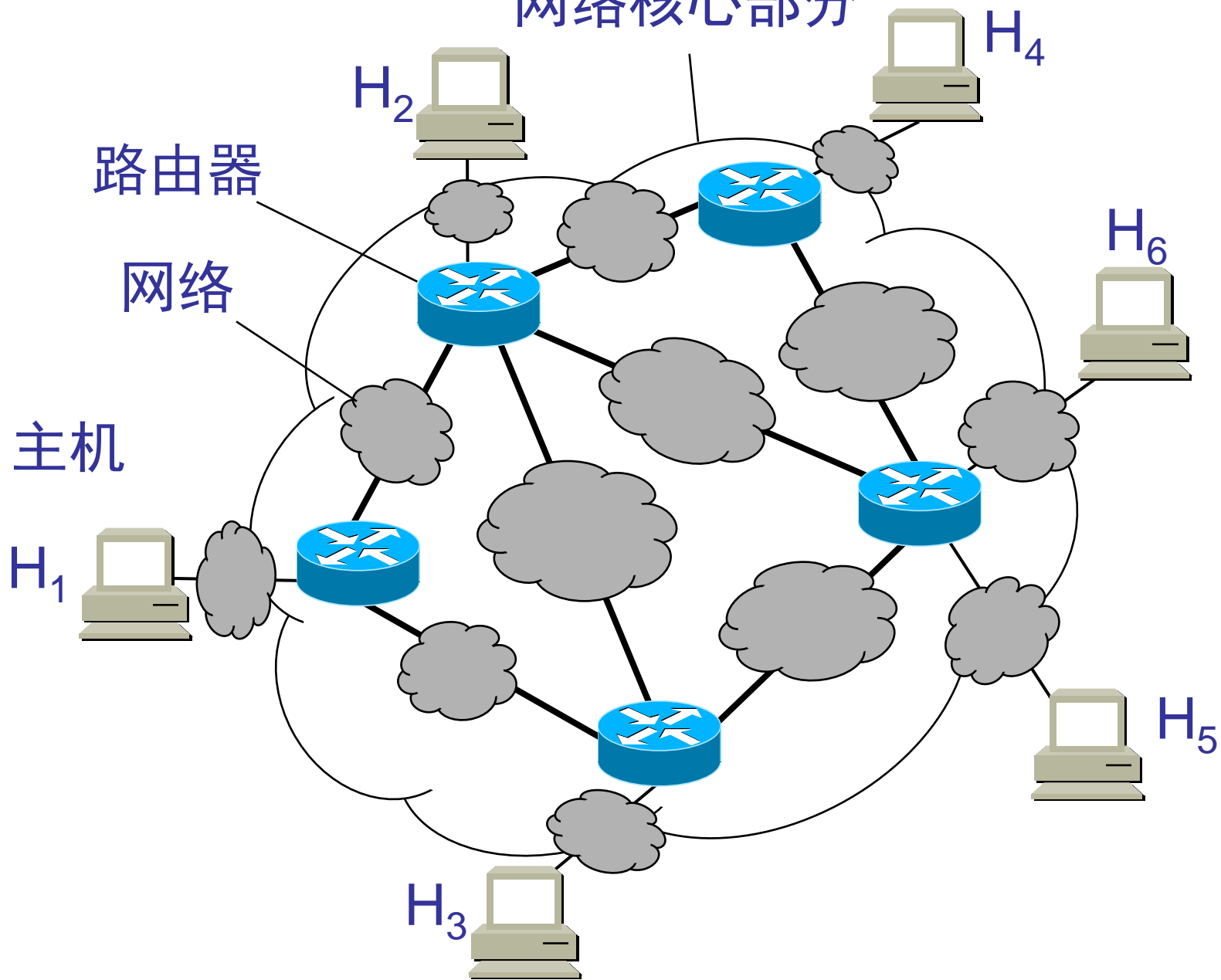
- 计算机网络：一些互相连接的、自治的计算机的集合
- 计算机网络的功能：连通性与信息共享
- 互联网（internet）与因特网（Internet）
- 因特网的核心部分和边缘部分
- 计算机、路由器、交换机
- 两种计算机通信方式：C/S、P2P
- 面向连接、无连接
- 电路交换、分组交换、报文交换

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 也分成为不同的层次。

网络核心部分



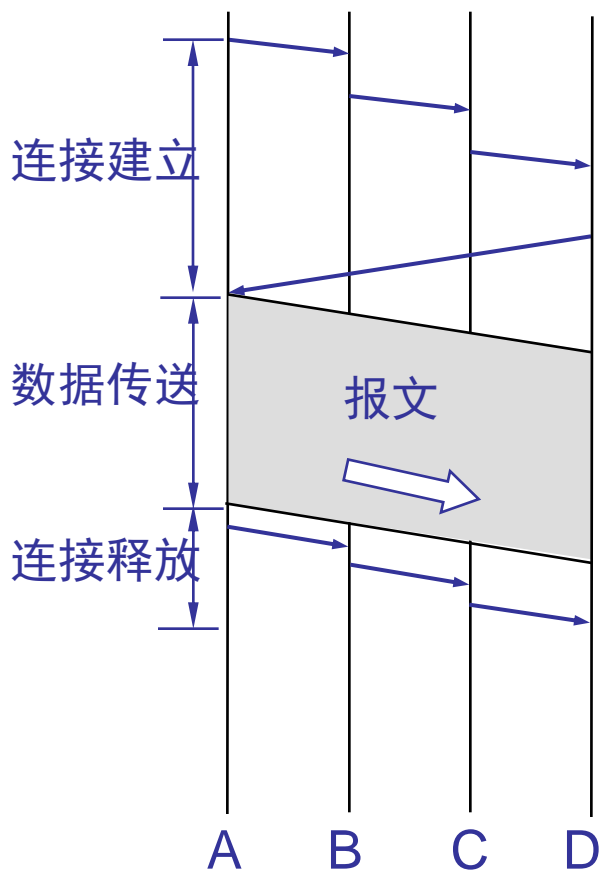


路由器是因特网核心部分的重要组成设备

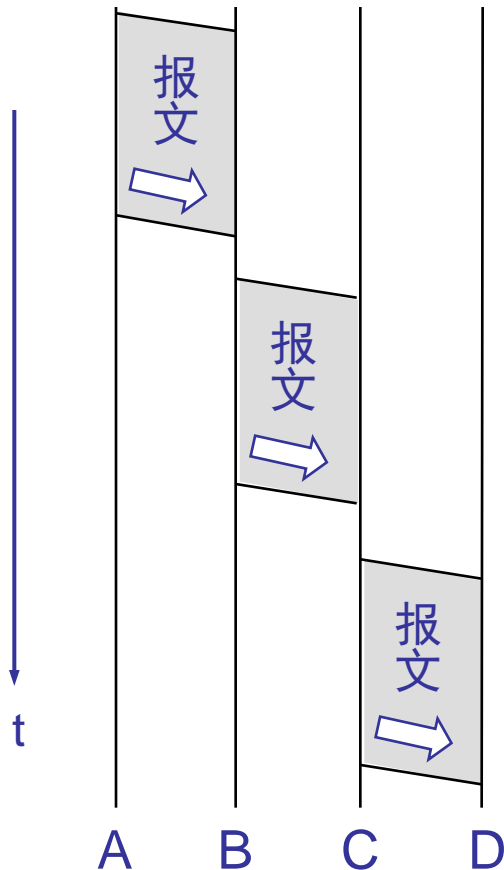
- 路由器是实现分组交换的关键构件，其任务是转发收到的分组。
- 路由器处理分组的过程是：
 - 把收到的分组先放入缓存（暂时存储）；
 - 查找转发表，找出到某个目的地址应从哪个端口转发；
 - 把分组送到适当的端口转发出去。

三种交换的比较

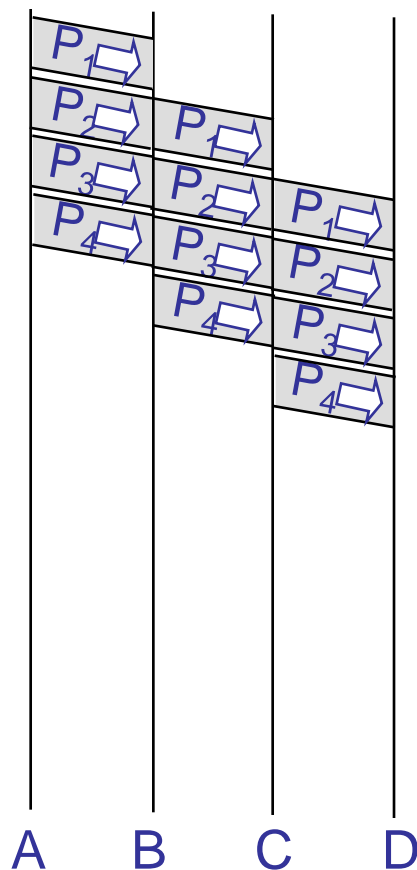
电路交换



报文交换

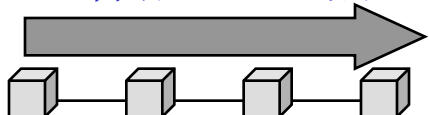


分组交换

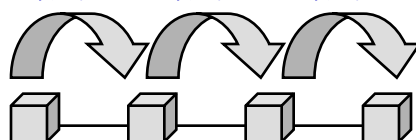


数据传送
的特点

比特流直达终点

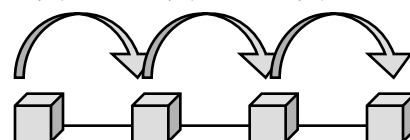


报文 报文 报文



存储
转发 存储
转发

分组 分组 分组



存储
转发 存储
转发



电路交换、分组交换、报文交换

- 电路交换：先建立源点到终点的链路，然后整个报文的比特流连续地从源点直达终点。
- 报文交换：整个报文先传送到相邻结点，全部存储下来后查找转发表，转发到下一个结点。需要各结点存储转发。
- 分组交换：单个分组（这只是整个报文的一部分）传送到相邻结点，存储下来后查找转发表，转发到下一个结点。需要各结点存储转发。



重要概念

- 广域网、城域网、局域网、个域网
- 速率、带宽、吞吐量、时延、时延带宽积、往返时间、信道利用率
- 协议、协议三要素
- 网络体系结构：OSI体系结构、TCP/IP体系结构、原理体系结构（五层协议）
- 实体、协议、服务、服务访问点SAP

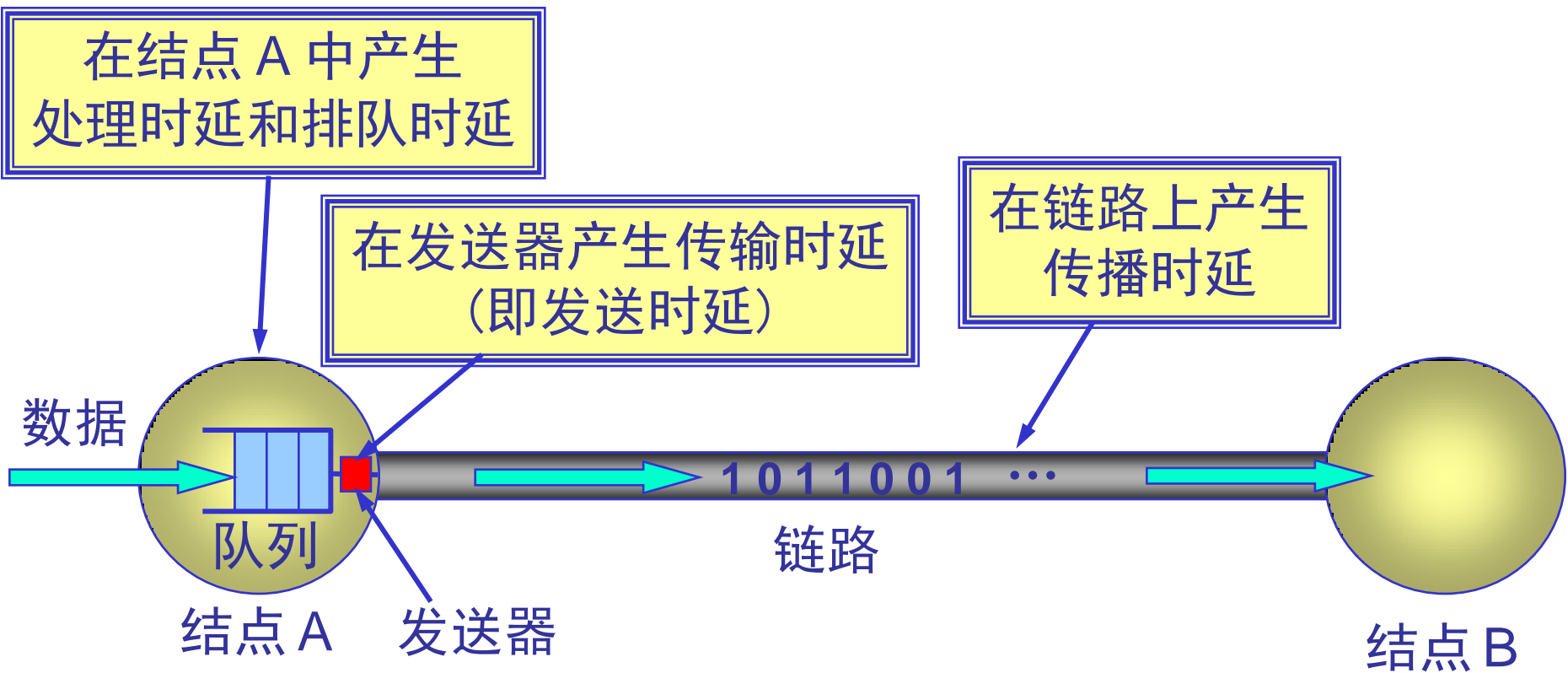


计算机网络的类别

- 按网络作用范围进行分类
 - 广域网 WAN (Wide Area Network)
 - 城域网 MAN (Metropolitan Area Network)
 - 局域网 LAN (Local Area Network)
 - 个域网 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)
- 按网络的位置进行分类
 - 主干网(Backbone Network)
 - 接入网AN(Access Network)
 - 用户驻地网 (CPN) (Customer Premises Network)

四种时延所产生的地方

从结点 A 向结点 B 发送数据





网络协议的三要素

- 网络协议(network protocol): 为进行网络中的数据交换而建立的规则、标准或约定。
- 网络协议三要素
 - 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。



网络体系结构

- 网络的体系结构（Architecture）：计算机网络的各层及其协议的集合，是对该网络及其构件所应完成的功能的精确定义。
- 网络各层的主要功能：差错控制、流量控制、分段与重装、复用和分用、连接建立和释放



三种计算机网络体系结构

- OSI七层协议体系结构：概念清楚，理论完整，但复杂且不实用。
- TCP/IP 四层体系结构：应用层、运输层、网际层和网络接口层（此层无具体内容）
- 原理体系结构（五层）：折中上述两种体系结构。



计算机网络体系结构

OSI	TCP/IP	五层协议体系结构
应用层(Application)	应用层(Application)	应用层
表示层(Presentation)		
会话层(Session)		
运输层(Transport)	运输层(Transport)	运输层
网络层(Network)	网际层(Internet)	网络层
数据链路层(Data Link)	网络接口层(Host to Network)	数据链路层
物理层(Physical)		物理层



原理体系结构



- 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)



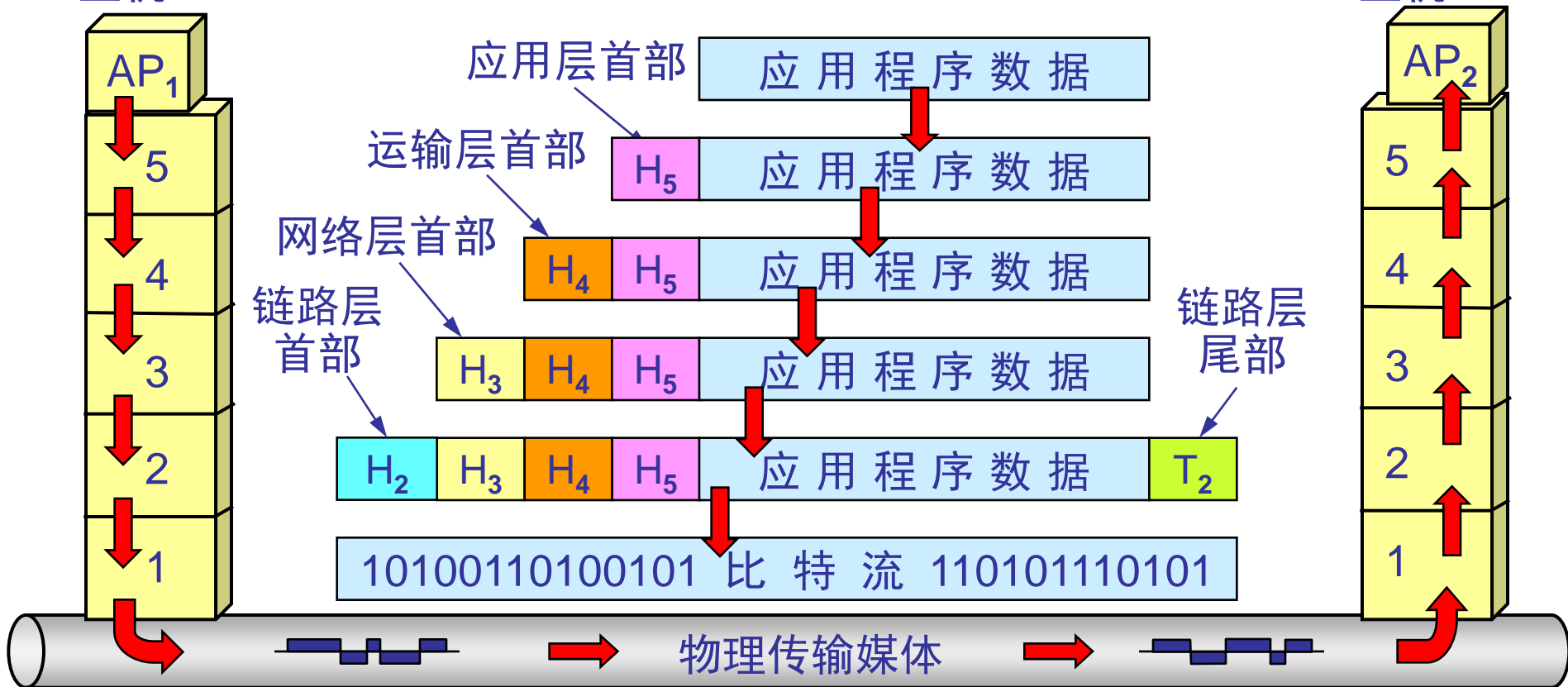
原理体系结构各层的作用

- 应用层：直接为用户的应用进程提供特定的服务。
- 运输层：负责向两个主机中进程之间的通信提供通用的数据传输服务。运输层有复用和分用的功能。运输层提供端到端的通信服务。
- 网络层：负责为分组交换网上的不同主机提供通信服务，其中包括封装成包和路由选择。网络层提供主机到主机的通信服务。
- 数据链路层：将网络层交下来的IP数据报组装成帧，在两个相邻结点间的链路上“透明”地传送帧中的数据。链路层提供点到点的通信服务。
- 物理层：透明地传送比特流。物理层要确定信号形式、物理接口规则。物理媒体不属于物理层，处于物理层的下面。

协议分层与数据传输过程

主机 1

主机 2





协议数据单元：PDU

- PDU (protocol data unit): 协议层的协议在对等层之间交换的信息叫协议数据单元。
- Application layer : message
- Transport layer : segment
- Network layer: packet
- Data-link layer: frame
- Physical layer: bit



网络设备

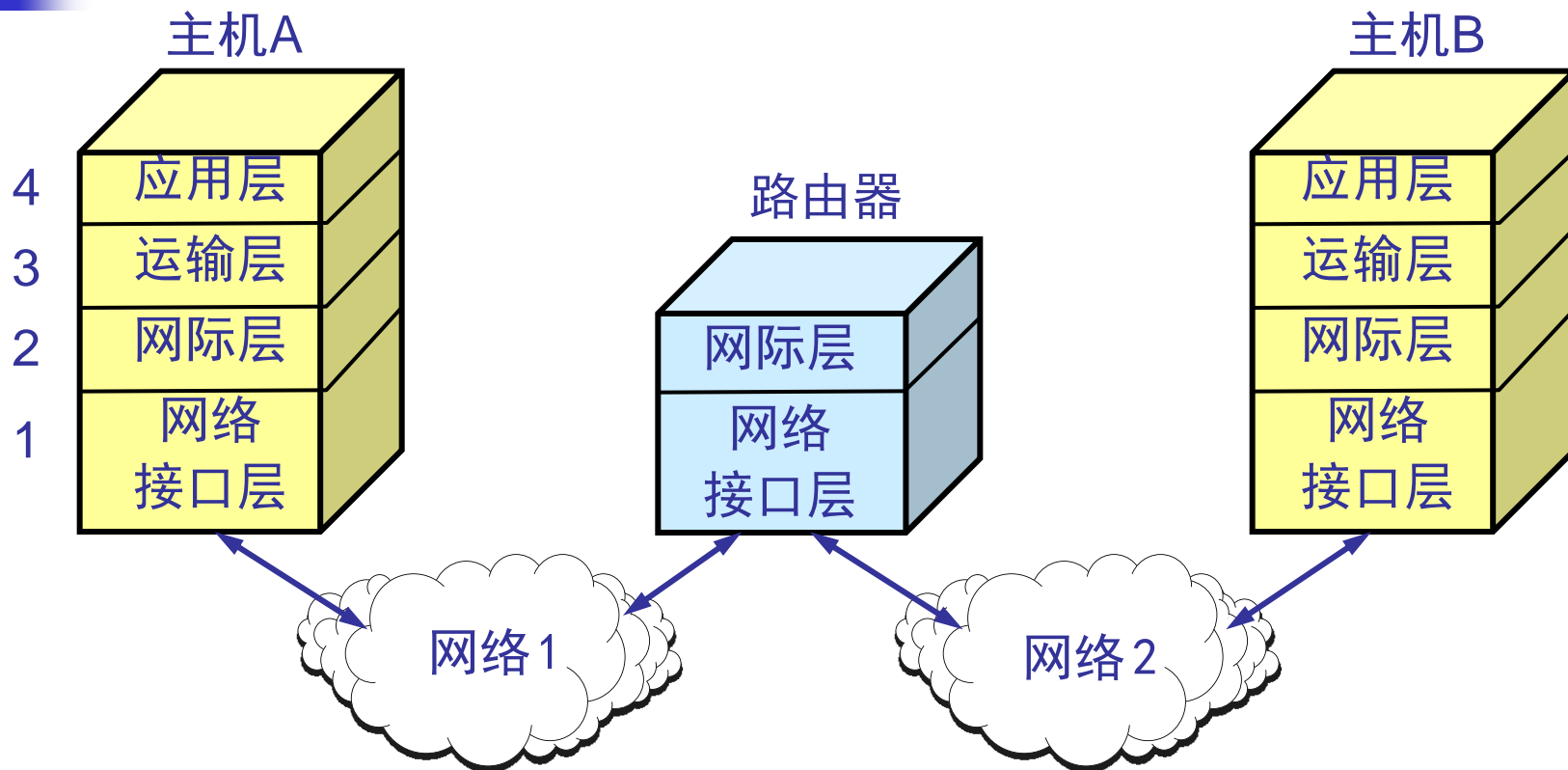
- 中间设备又称为中间系统或中继(relay)系统。
 - 物理层：转发器(repeater)、中继器、集线器(hub)、调制解调器(modem)
 - 数据链路层：网桥(bridge)、以太网交换机(switch)、网络适配器
 - 网络层：路由器(router)、第三层交换机
 - 网桥和路由器的混合物：桥路器(brouter)
 - 网络层以上：网关(gateway)、主机



实体、协议、服务和访问点

- **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“**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)。

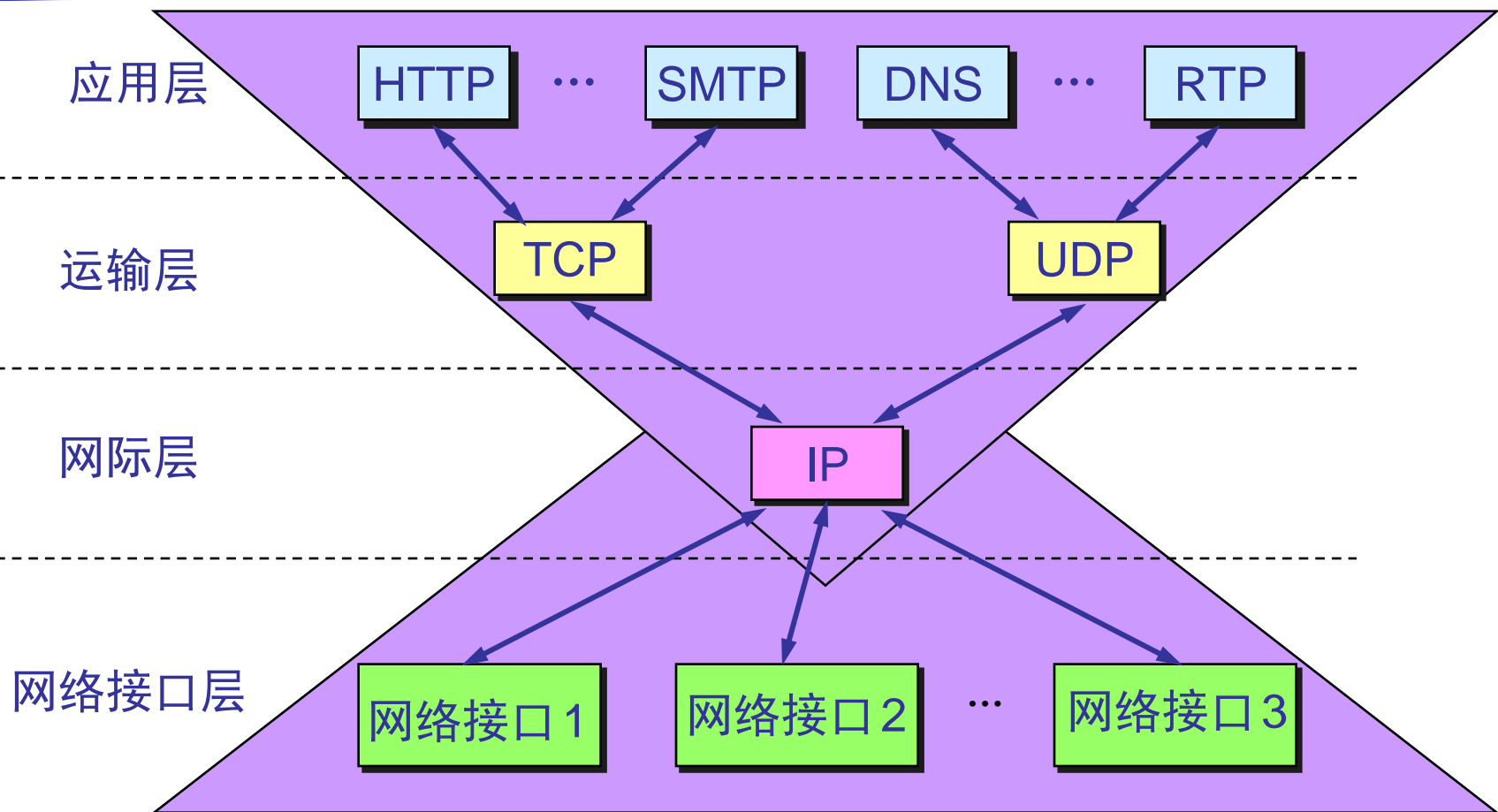
TCP/IP的体系结构



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。

IP over Everything

IP可应用到各式各样的网络上





第2章 物理层

- 物理层的主要任务

- 将链路层传来的比特流放到传输媒体上透明地传输。物理层应确定与传输媒体的接口有关的一些特性；即机械特性、电气特性、功能特性、过程特性

- 模拟通信与数字通信

- 基带信号与带通信号

- 信道编码

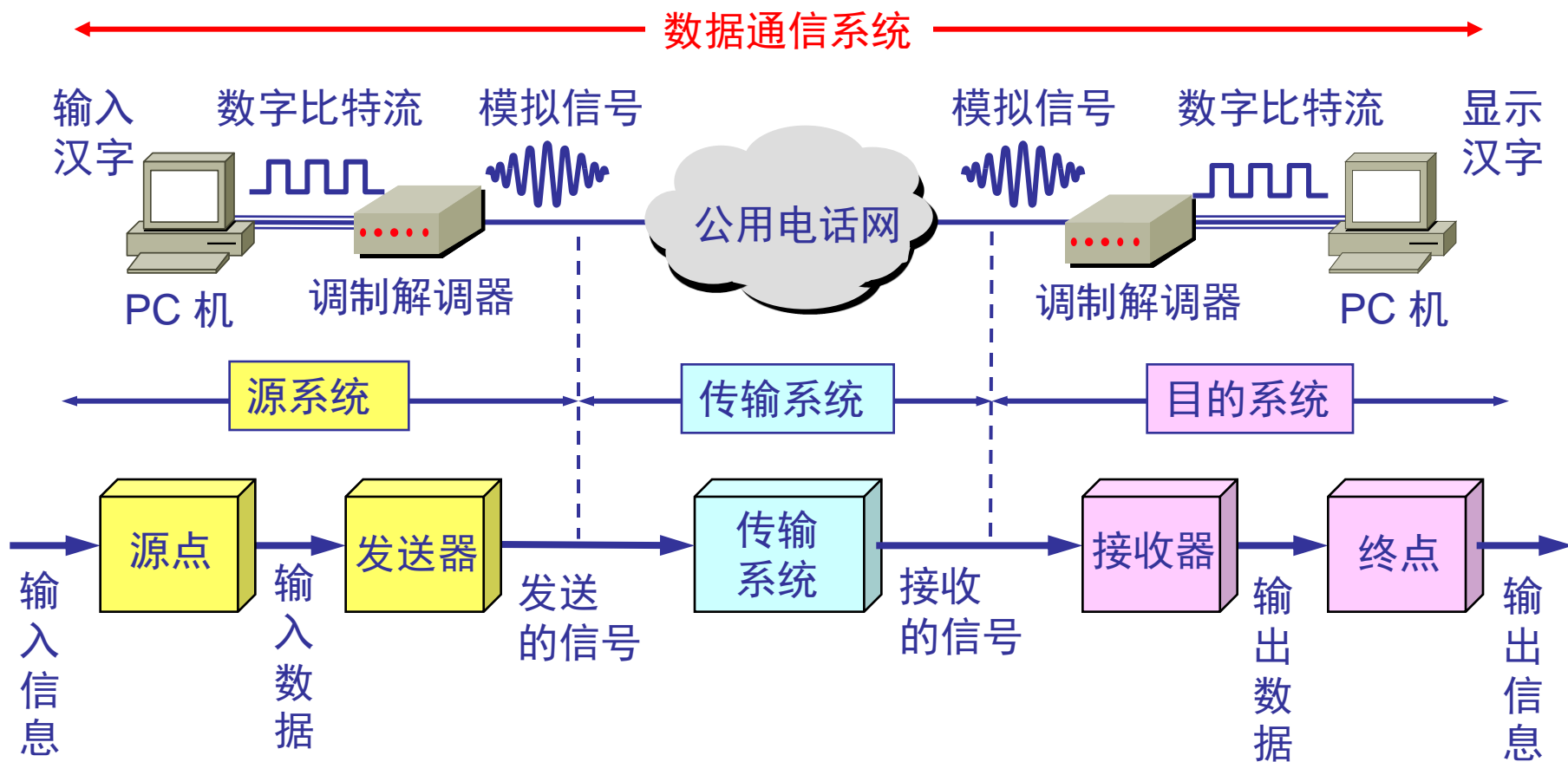
- 载波调制：调幅、调频、调相。



第2章 物理层

- 信道容量（Nyquist准则、Shannon公式）
- 双绞线、光纤（多模、单模）、微波传播
- 信道多路复用：FDM、TDM、WDM、CDM、CDMA
- 数字传输技术
 - A/D变换：PCM
 - 数字系列标准：PDH、SDH
 - 宽带接入技术ADSL、FTTH

数据通信系统的模型





几个术语

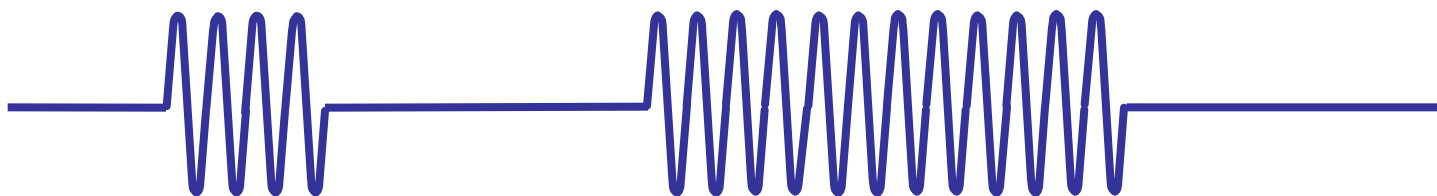
- 消息(message)——待传输的语言、图片、文字、数据等
- 信息(information)——消息中有意义的内容
- 数据(data)——运送消息的实体。
- 信号(signal)——数据的电气的或电磁的表现。
- “模拟的”(analogous)——代表消息的参数的取值是连续的。
- “数字的”(digital)——代表消息的参数的取值是离散的。
- 码元(code)——在使用时间域（或简称为时域）的波形表示数字信号时，代表不同离散数值的基本波形。

对基带数字信号的几种调制方法

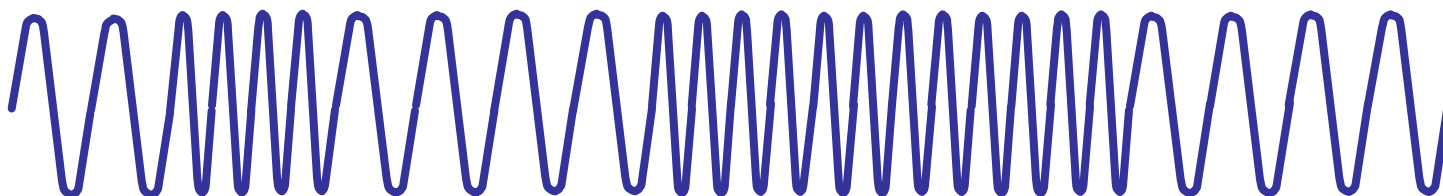
基带信号



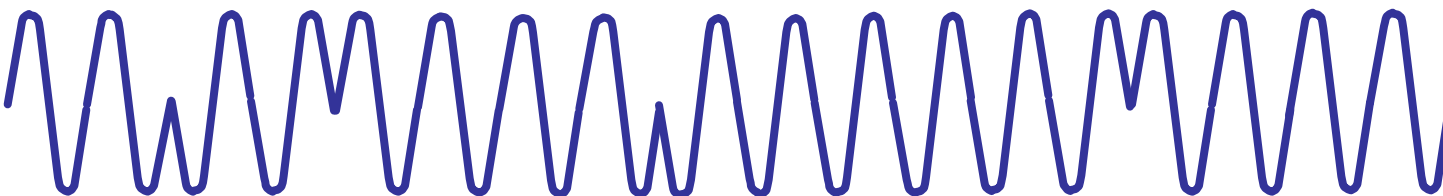
调幅



调频



调相





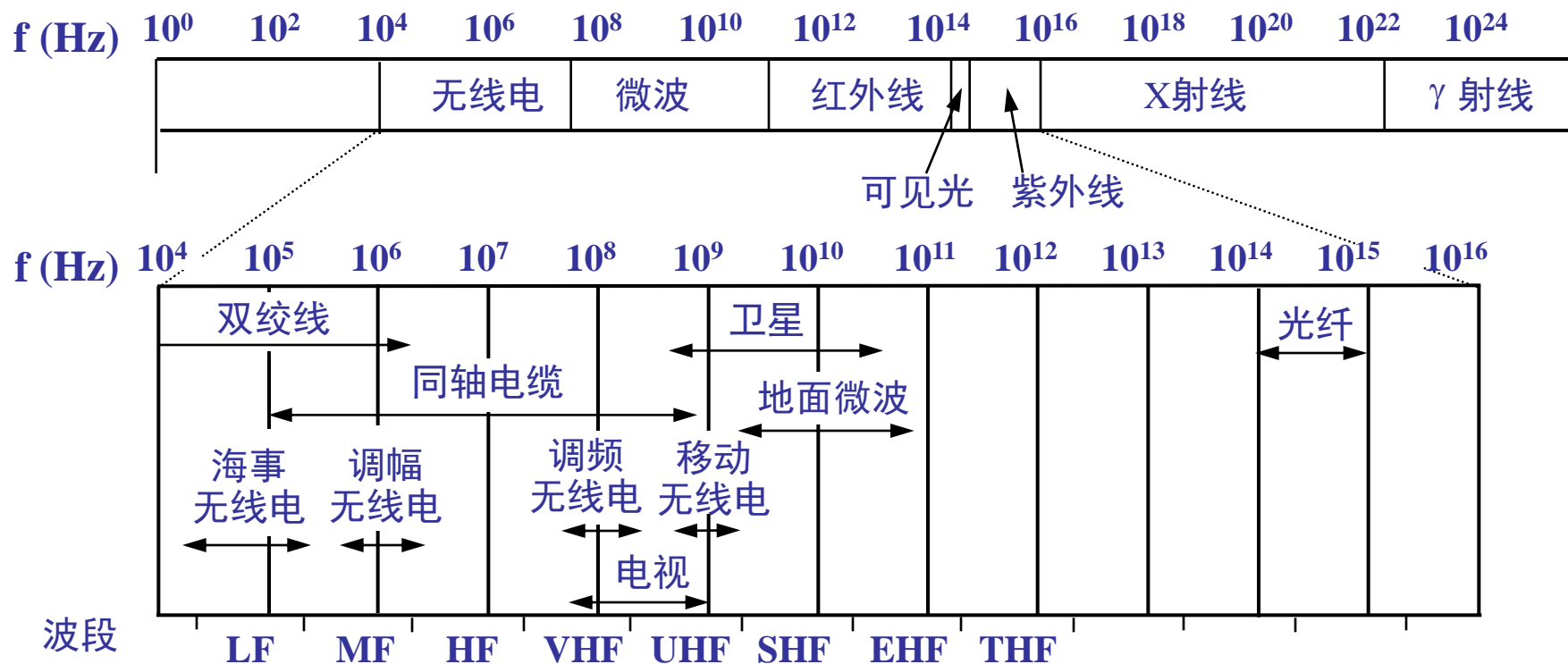
信道容量-香农公式

■ 香农公式

$$C = W \log_2(1+S/N) \text{ b/s}$$

- C 为信道容量（信道的极限信息速率）
- W 为信道的带宽（以 Hz 为单位）；
- S 为信道内所传信号的平均功率；
- N 为信道内部的高斯噪声功率。

电信领域使用的电磁波的频谱

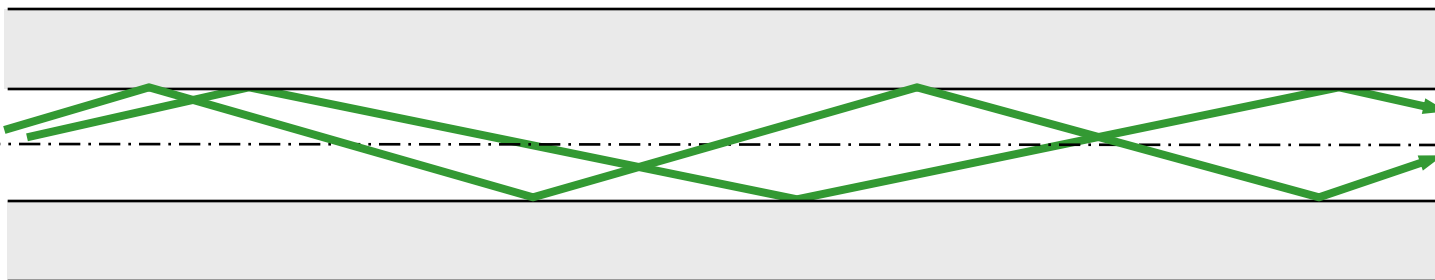
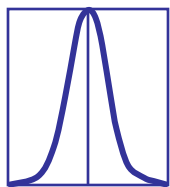




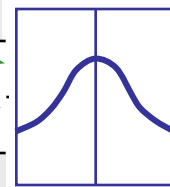
多模光纤与单模光纤

多模光纤

输入脉冲

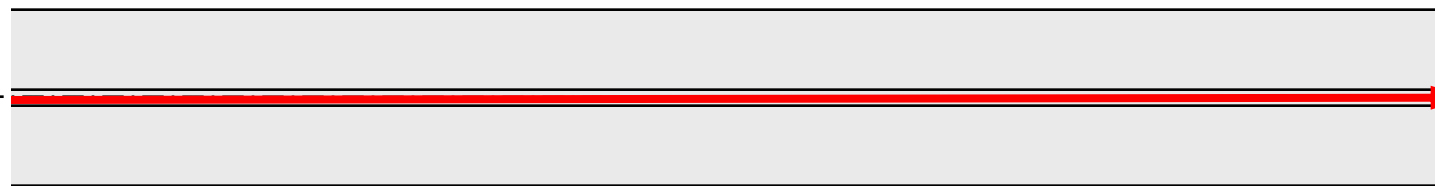
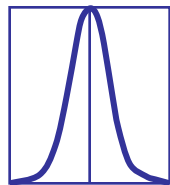


输出脉冲

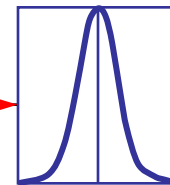


单模光纤

输入脉冲



输出脉冲



频率资源划分表

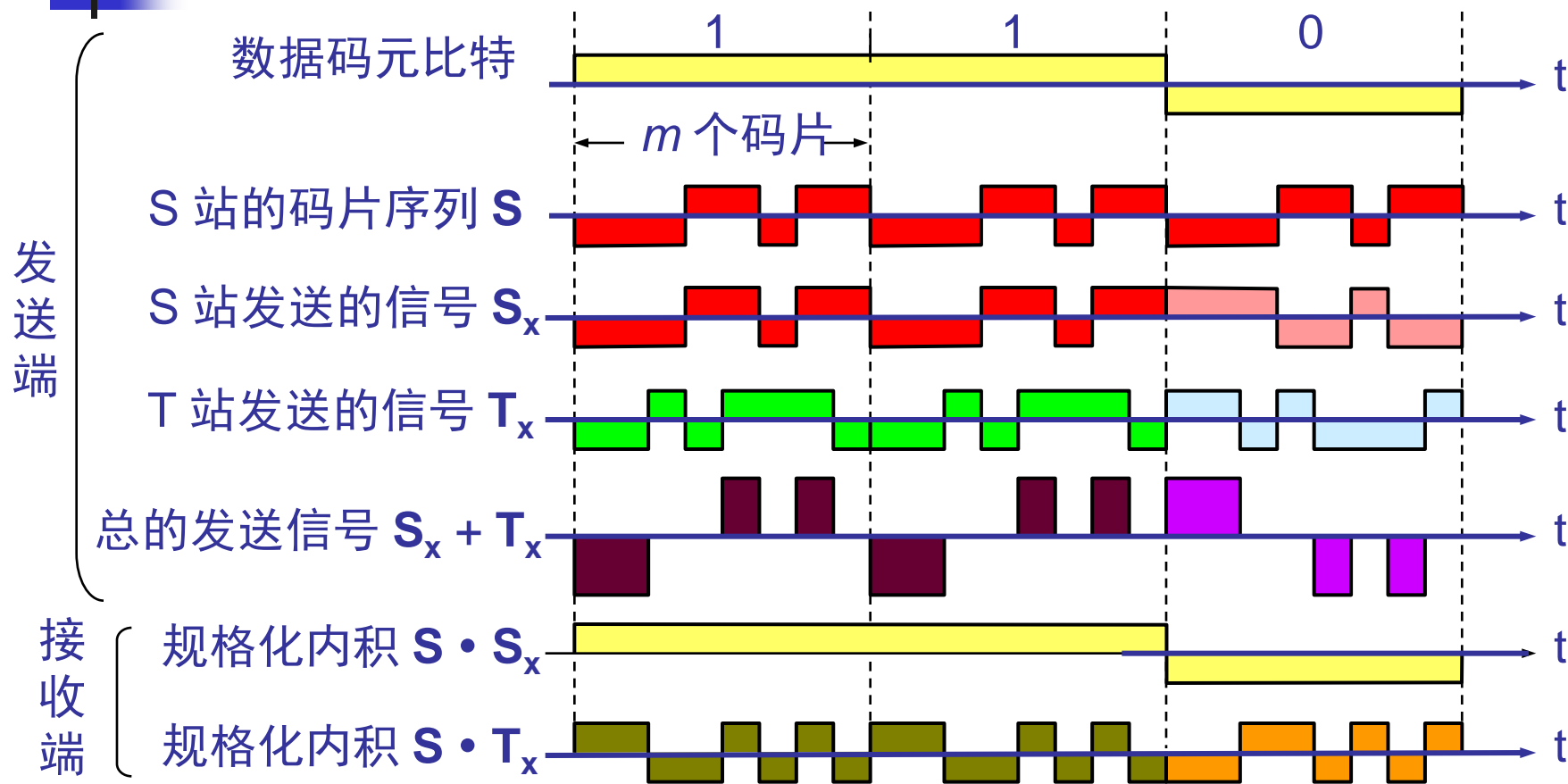
频段名称	频率范围	波长范围	波段名称	传输介质	用 途
甚低频 VLF	3 Hz~30 kHz	$10^8 \sim 10^4$ m	甚长波	有线线对 长波无线电	音频、电话、数据终端、长距离导航、时标
低频 LF	30~300 kHz	$10^4 \sim 10^3$ m	长波		导航、信标、电力线通信
中频 MF	300 kHz~3 MHz	$10^3 \sim 10^2$ m	中波	同轴电缆 中波无线电	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电通信
高频 HF	3~30 MHz	$10^2 \sim 10$ m	短波	同轴电缆 短波无线电	移动无线电话、短波广播、军用定点通信、业余无线电通信
甚高频 VHF	30~300 MHz	10~1 m	超短波	同轴电缆 米波无线电	电视、调频广播、空中管制、车辆通信、导航
特高频 UHF	300 MHz~3 GHz	1 m~10 cm	微波	波导 分米波无线电	电视、空间遥测、雷达导航、点对点通信、移动通信、专用短程通信、微波炉、蓝牙技术
超高频 SHF	3~30 GHz	10~1 cm		波导 厘米波无线电	微波接力、雷达、卫星和空间通信、专用短程通信
极高频 EHF	30~300 GHz	1 cm~1 mm		波导 毫米波无线电	微波接力、雷达、射电天文学
紫外线、 红外线、 可见光	$10^5 \sim 10^7$ GHz	3×10^{-4} $\sim 3 \times 10^{-6}$ cm	光波	光纤 激光空间传播	光通信



信道复用技术

- **复用**(multiplexing)是指将一条物理信道分成多个逻辑信道的技术。
 - 频分复用FDM
 - 时分复用TDM
 - 波分复用WDM
 - 码分复用CDM

CDMA 的工作原理





脉码调制 PCM 体制

- 脉码调制PCM (Pulse Code Modulation)
- 脉码调制的功能：模拟信号数字化
- PCM过程：抽样、量化、编码
- 两个互不兼容的PCM标准：
 - 北美 24 路 PCM（简称为 T1）1.544 Mb/s
 - 欧洲的30 路 PCM（简称为 E1）2.048 Mb/s
 - 若需要更高数据率，可采用复用的方法。

两个PCM数字传输系统系列

系统类型		一次群	二次群	三次群	四次群	五次群	六次群
欧洲 中国 体制	符号	E1	E2	E3	E4	E5	E6
	话路数	30	30×4 =120	120×4 =480	480×4 =1920	1920×4 =7680	$\times 2 = 15360$ $/ \times 4 = 30720$
	数据速率 (Mbps)	2.048	8.448	34.368	139.264	564.992	1.13G/2.4G
北美 体制	符号	T1	T2	T3	T4	T5	
	话路数	24	24×4 =96	96×7 =672	672×6 =4032	$\times 6 / \times 12 / \times 9$	$\times 2 / \times 4$
	数据速率 (Mbps)	1.544	6.312	44.736	274.176	274.176 $/564.99$ $2/432$	1.13G/2.4G
日本 体制	符号	T1	T2				
	话路数	24	24×4 =96	96×5 =480	480×3 =1440	1440×4 =5760	5760×4 =23040
	数据速率 (Mbps)	1.544	6.312	32.064	97.728	397.20	1588.8



准同步数字系列 PDH的缺陷

- 速率标准不统一
 - 交互困难
- 不是同步传输
 - 需要进行频率补偿
- 复接分接困难
 - 不能再提高速率了
-



同步数字系列 SDH

- 同步数字系列SDH：世界统一的数字传输系列。
其第一级同步传输模块STM-1：155.52Mb/s，
更高等级模块由N个STM-1构成。
- SDH (Synchronous Digital Hierarchy)。
- SDH 的基本速率为 155.52 Mb/s，称为第 1 级
同步传递模块 (Synchronous Transfer Module)，
即 STM-1，相当于 SONET 体系中的 OC-3 速
率。

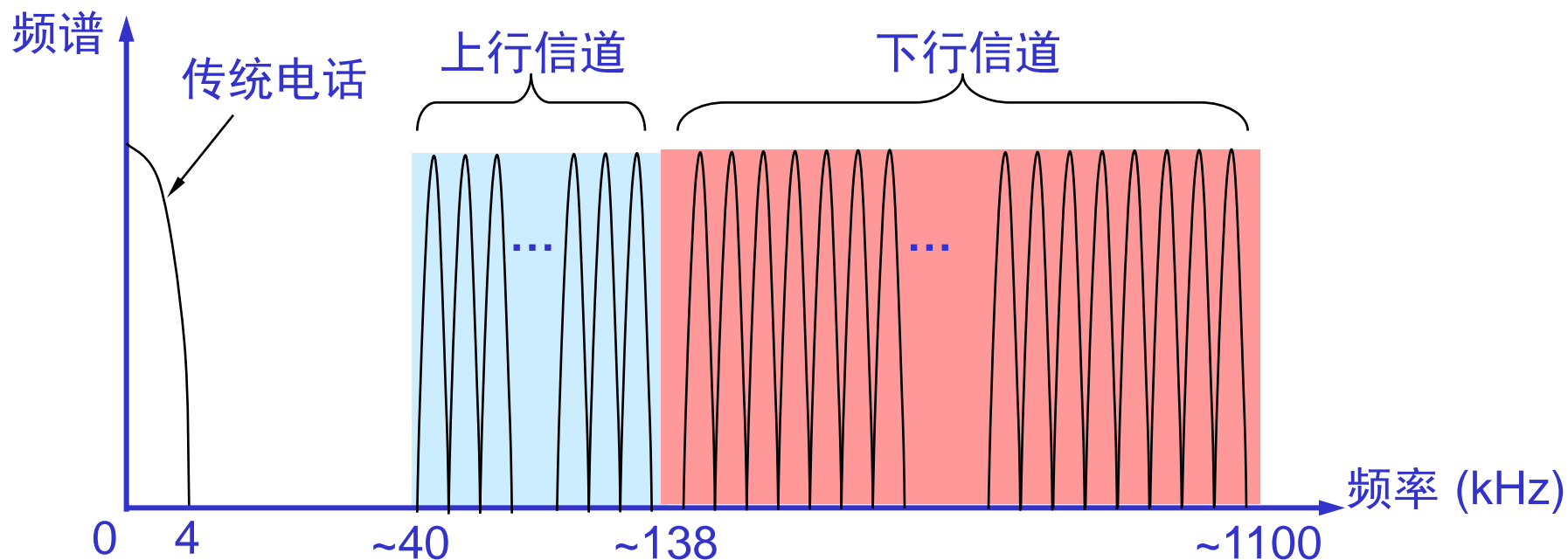


因特网的宽带接入方法

- ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line): 非对称数字用户线
 - 上行和下行带宽做成不对称的。
 - ADSL 在用户线的两端各安装一个 ADSL 调制解调器。
- 光纤同轴混合网HFC (Hybrid Fiber Coax)
 - 具有很宽的频带, 并且能够利用已经有相当大的覆盖面的有线电视网。需要线路改造。
- FTT_x 技术
 - 光纤到家 FTTH (Fiber To The Home)
 - 光纤到大楼 FTTB (Fiber To The Building)
 - 光纤到路边 FTTC (Fiber To The Curb)
 - 光纤到办公室 FTTO (Fiber To The Office)
 - 光纤到邻区 FTTB (Fiber To The Neighbor)
 - 光纤到楼层 FTTF (Fiber To The Floor)
 - 光纤到小区 FTTZ (Fiber To The Zone)

ADSL采用DMT调制技术

- ADSL: (Asymmetric Digital Subscriber Line)
- DMT (Discrete Multi-Tone)





第3章 数据链路层

- 结点、链路、数据链路、数据链路层
- 数据链路层的功能：将网络层交下来的IP数据报组装成帧，在两个相邻结点间的链路上“透明”地传送帧中的数据。
- 数据链路层的三个基本问题：封装成帧、透明传输、差错检测
- 循环冗余校验CRC是一种检错方法，帧检验序列FCS是帧中校验字段
- 局域网的优点：广播信道、升级容易
- 广播信道的复用：静态信道复用、动态接入（随机or受控）
- MAC地址/物理地址：48位。



点对点信道数据链路层PPP协议

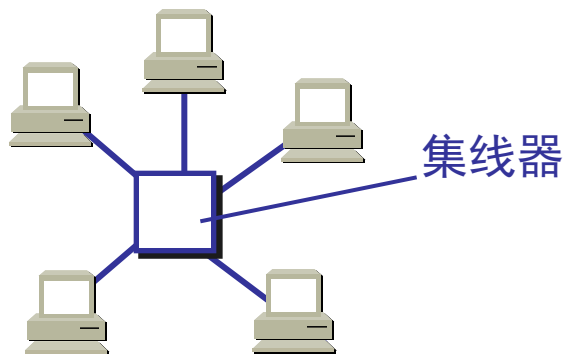
- 点对点信道常用PPP协议，简单、支持多种网络协议，用于拨号电话线接入因特网。
- PPP协议实现透明传输的方法：字节填充与比特填充
- PPP协议需LCP协商和NCP协商后建立网络连接



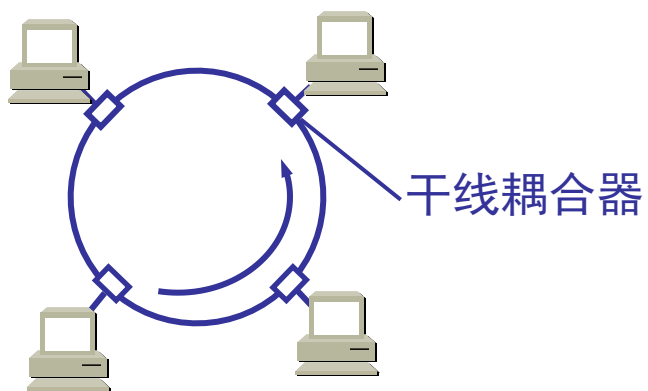
广播信道数据链路层

- 局域网；以太网；快速以太网（100Mbps）、吉比特以太网、10吉比特以太网、……
- 广播域与碰撞域（冲突域）；广播风暴；
- 网桥可以隔离冲突域；VLAN可以隔离广播域
- 局域网的优点：广播信道、升级容易
- 广播信道的复用：静态信道复用、动态接入（随机 or 受控）
- 以太网数据链路层协议为CSMA/CD，有可能冲突
- 以太网V2帧结构、数据字段46-1500B、MTU

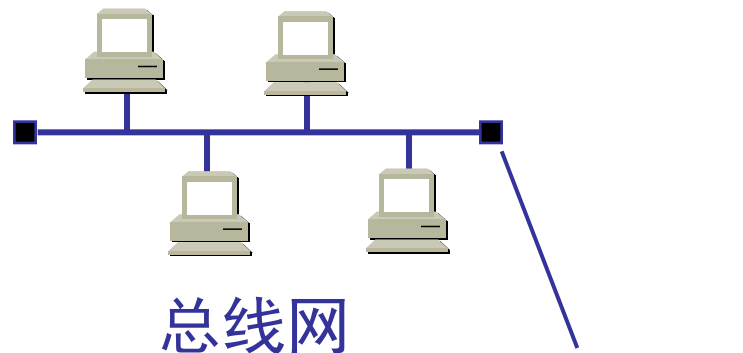
局域网的拓扑



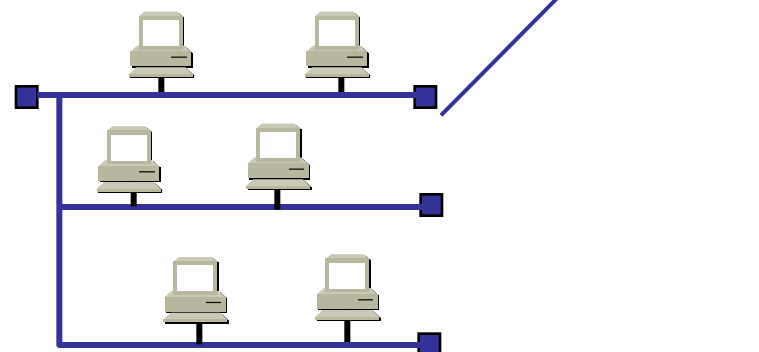
星形网



环形网



总线网



树形网



IEEE 802 局域网/城域网标准

- 802.1 概述、体系结构、桥接
- 802.2 LLC
- 802.3 CSMA/CD
- 802.4 Token Bus
- 802.5 Token Ring
- 802.6 分布队列双总线DQDB --MAN标准
- FDDI 光纤分布数据接口FDDI

802.2 LLC					数据链路层
802.3 CSMA/CD	802.4 Token Bus	802.5 Token Ring	802.6 DQDB	FDDI	物理层



IEEE 802 目前活跃的工作组

- 802.1 概述、体系结构、桥接
- 802.3 CSMA/CD
- 802.11 无线局域网
- 802.15 无线个人区域网
- 802.16 宽带无线接入
- 802.17 弹性分组环
- 802.20 移动宽带无线接入MBWA(Mobile Broadband Wireless Access)
- 802.21 媒体独立切换(Media Independent Handoff)



局域网数据链路层的两个子层

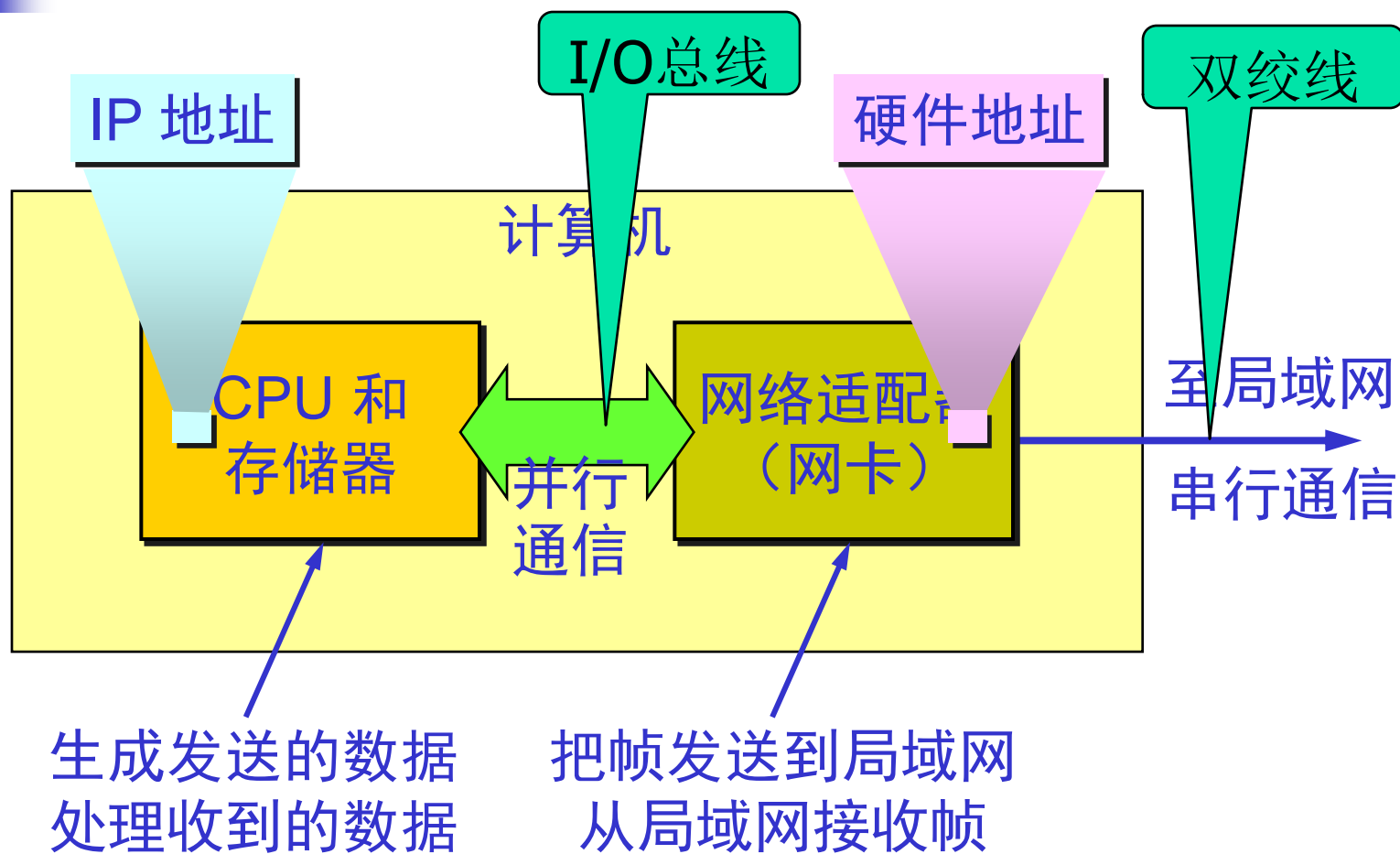
- 逻辑链路控制 LLC (Logical Link Control) 子层
 - LLC 子层则与传输媒体无关：向高层提供SAP，逻辑连接管理，差错控制，帧序号处理
 - 目前LLC（即 802.2 标准）的作用已消失
- 媒体接入控制 MAC (Medium Access Control) 子层
 - 与接入到传输媒体有关的内容都放在 MAC子层：成帧/拆帧，实现、维护MAC协议，位差错检测，寻址



以太网

- 严格说来，“以太网”应当是指符合 DIX Ethernet V2 标准的局域网
- 传统以太网指早期的10Mb/s的以太网
- 快速以太网（100Mbps）、吉比特以太网、10吉比特以太网、……

网络适配器接入局域网





网络适配器的功能

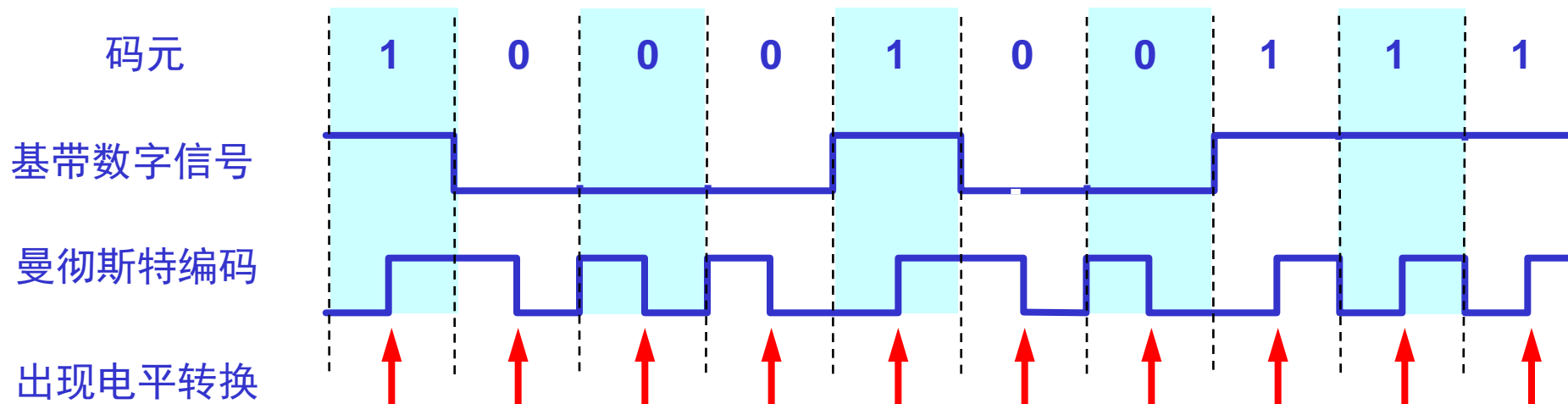
- **数据的封装与解封** 发送时将上一层交下来的数据加上首部和尾部，成为以太网的帧。接收时将以太网的帧剥去首部和尾部，然后送交上一层。若收到有差错的帧，则丢弃。
- **链路管理** 主要是 CSMA/CD 协议的实现。
- **编码与译码** 即曼彻斯特编码与译码。



1. 以太网采用无连接通信方式

- 无连接的通信方式：不必先建立连接就可以直接发送数据。
- 提供不可靠的（尽最大努力交付）服务
 - 发送的数据帧不进行编号，也不要求对方发回确认。
 - 当目的站收到有差错的数据帧时就丢弃此帧，其它什么也不做。差错的纠正由高层来决定。

2. 以太网上数据传输采用 曼彻斯特(Manchester)编码





3. CSMA/CD 协议

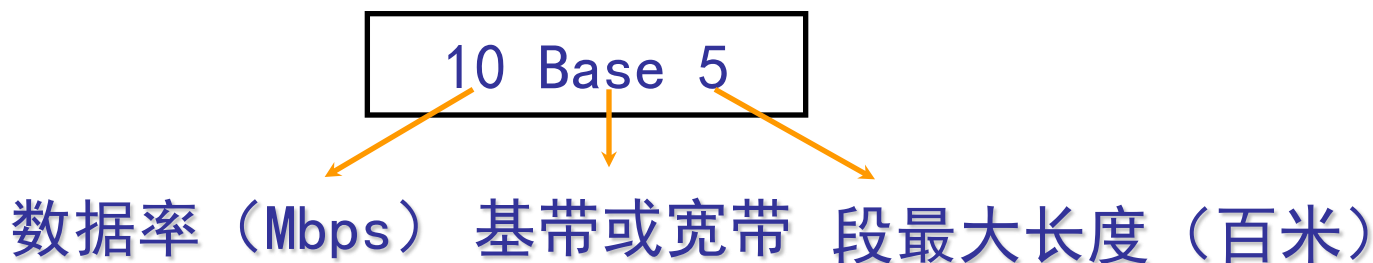
- CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection——载波监听多点接入/碰撞检测
- 三个要点:
 - “**多点接入**”：许多计算机以多点接入方式连接在一根总线上。
 - “**载波监听**”：每一个站在发送数据之前先要检测一下总线上是否有其它计算机在发送数据，如果有，则暂时不要发送数据，以免发生碰撞。
 - “**碰撞检测**”也称“**冲突检测**”：计算机边发送数据边检测信道上的信号电压大小以检测是否有多台机同时在发送数据。若发生了碰撞，则立即停止发送，然后等待一段随机时间后再次发送。



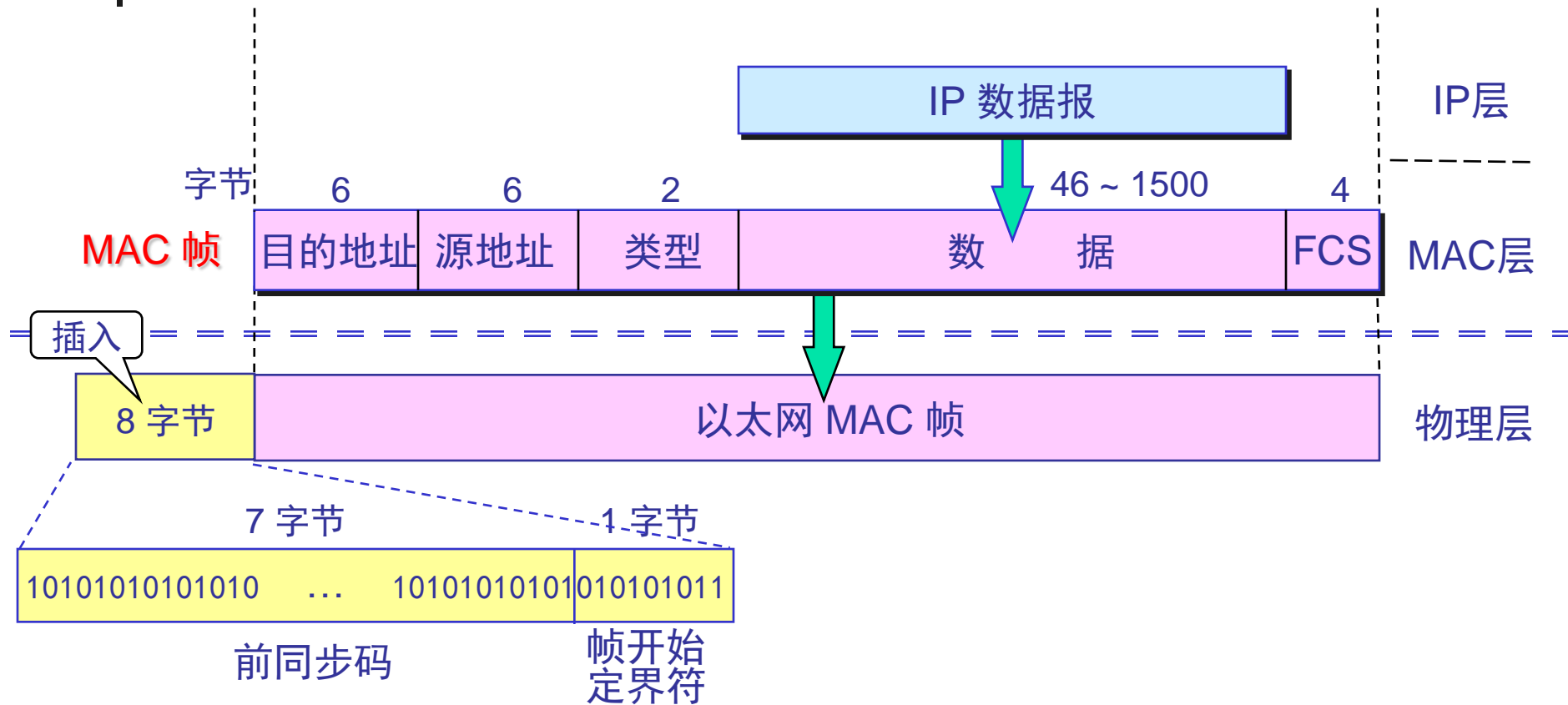
IEEE 802.3 规范

■ 不同标准

- 10Base5 -- 粗缆Ethernet
- 10Base2 -- 细缆Ethernet
- 10BaseT -- 双绞线
- 10BaseF -- 光缆
- 10Broad36 -- 宽带



以太网的 MAC 帧格式



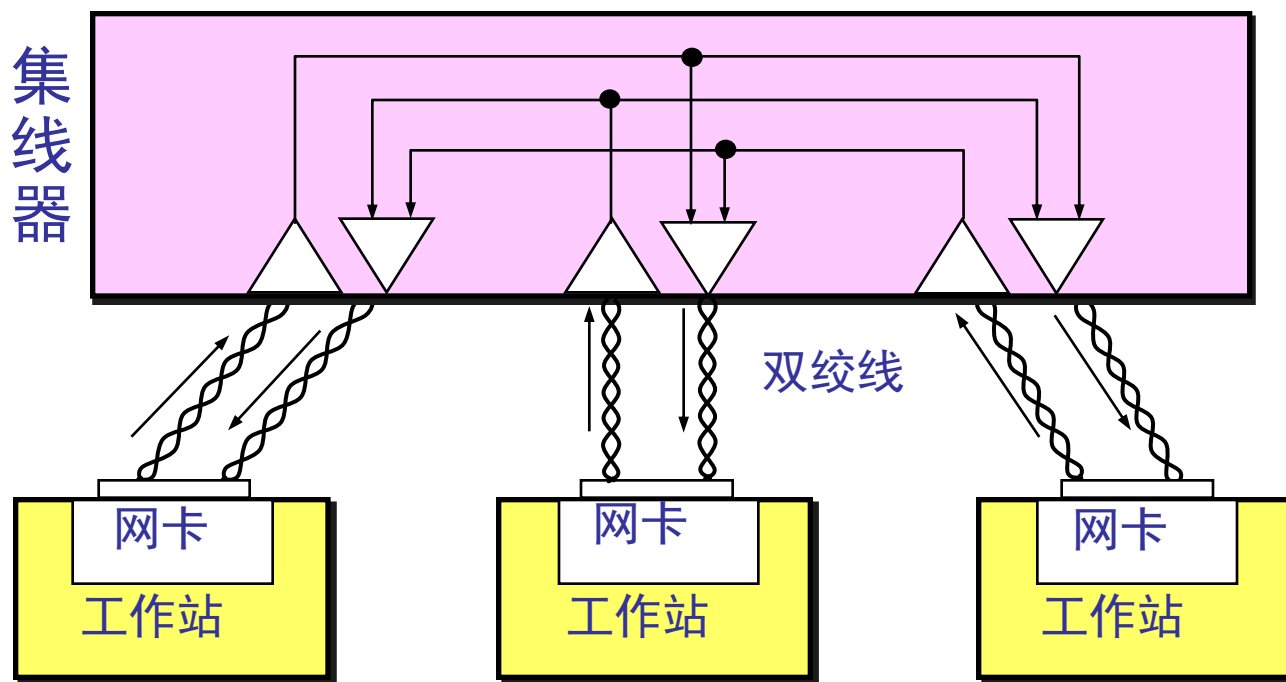


若收到无效的 MAC 帧则丢弃

■ 无效帧：

- 帧的长度不是整数个字节；
- 用收到的帧检验序列 FCS 查出有差错；
- 收到的帧的 MAC 客户数据字段长度不在 46 ~ 1500 字节之间。

集线器





网桥、以太网交换机

- 网桥工作在数据链路层，它根据 MAC 帧的目的地址对收到的帧进行转发。
- 网桥具有过滤帧的功能。网桥可互连不同物理层、不同 MAC 子层和不同速率的局域网。网桥由于存储转发增加了时延。
- 广播风暴：网桥并不隔离广播域，当网桥连接成较大的局域网时，会因传播过多的广播信息而产生网络拥塞。这就是所谓的广播风暴。VLAN 可以隔离广播域。
- 以太网交换机是多端口的网桥。



以太网交换机的特点

- 1.交换机的所有端口都在一个广播域内
- 2.交换机每个端口带宽是独立的
- 3.交换机每个端口都是独立的冲突域
- 4.交换机能够识别 L2 的控制信息



物理层和数据链路层设备

- 网络适配器（网卡，只接收特定的数据）
- 集线器（只转发，在物理层扩展以太网）
- 转发器
- 网桥（对帧进行过滤和转发，在数据链路层扩展以太网，可互连不同的物理层，广播风暴）
- 以太网交换机（交换式集线器、二层交换机，就是多接口的网桥，全双工方式）
- VLAN



利用以太网交换机实现虚拟局域网

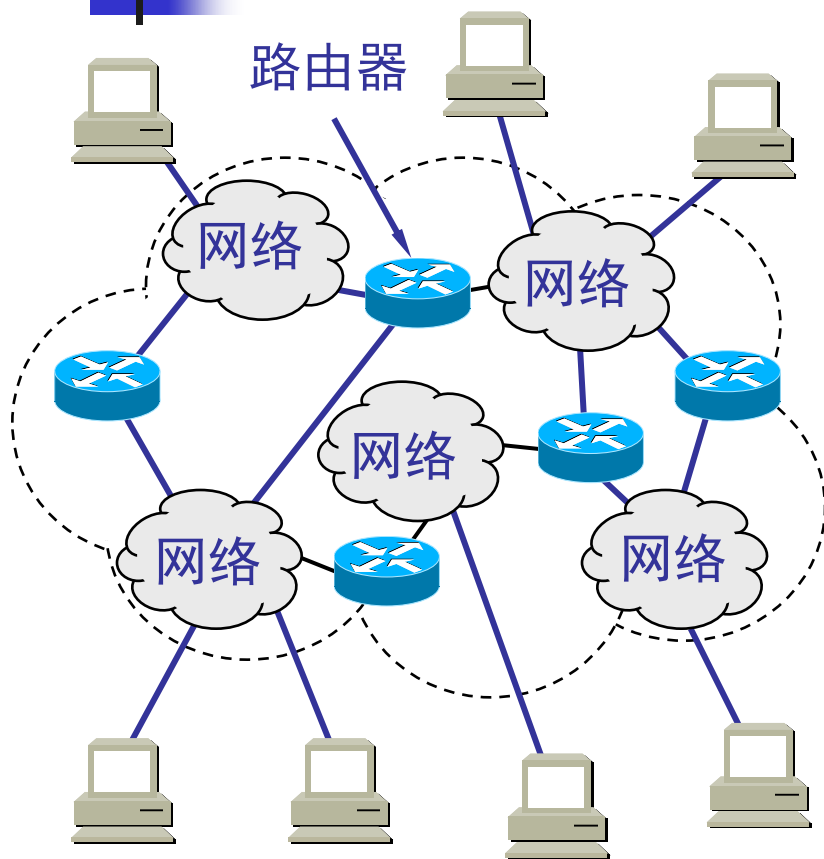
- 虚拟局域网（VLAN，Virtual LAN）：VLAN是由一些局域网网段构成的与物理位置无关的逻辑组。
 - 这些网段具有某些共同的需求。
 - 每一个VLAN的帧都有一个明确的标识符，指明发送这个帧的工作站是属于哪一个VLAN。
 - 一个VLAN就是一个广播域，VLAN之间的通信需通过路由器
- 一个VLAN内部的广播和单播流量都不会传到其它VLAN中，有助于进行流量控制、减少设备投资、简化网络管理、提高网络的安全性。



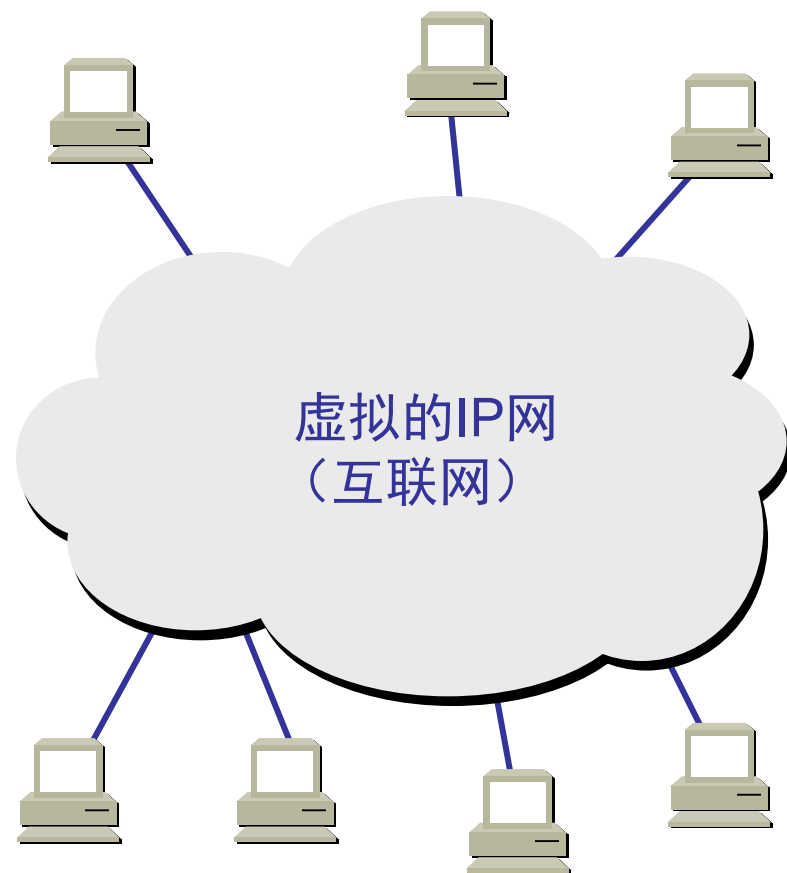
Ch4 网络层

- 网络层向上提供的服务：虚电路服务和数据报服务
 - TCP/IP体系网络层向上提供尽最大努力交付的数据报服务
- 网络层的主要功能：网络互连、报文在网际间传输
- 网络层的任务：将主机产生的数据报经由多个路由器存储转发，最后实现主机到主机的通信。
- 网络层的协议数据单元：Packet（数据报或包）
- 网络层协议：IP, ARP, ICMP, IGMP
- 分类的IP地址、子网掩码与子网划分
- 无类别编址CIDR，CIDR地址块，路由聚合（超网）
- 查找路由表采用最长前缀匹配
- IP地址与硬件地址

互连网络与虚拟IP网络

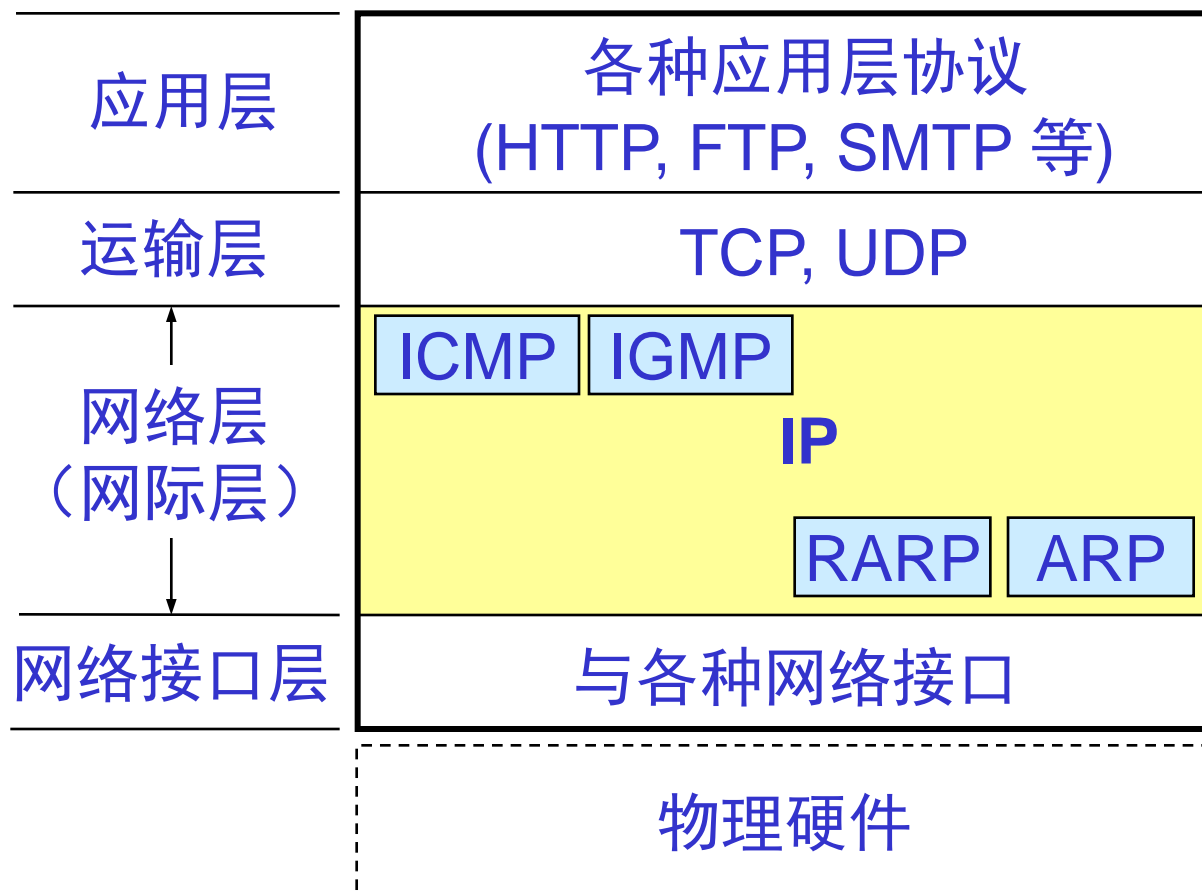


(a) 互连网络

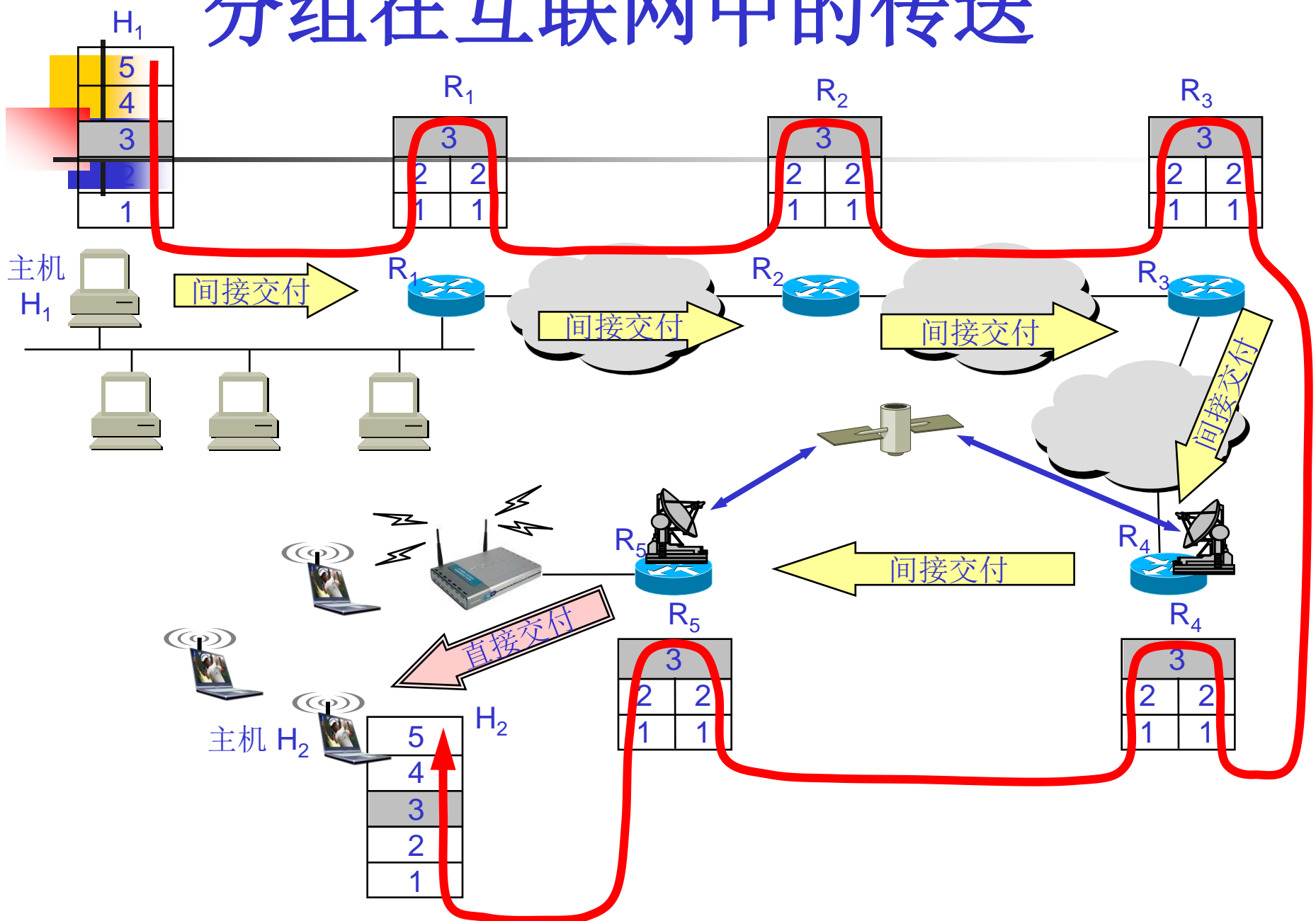


(b) 虚拟的IP网

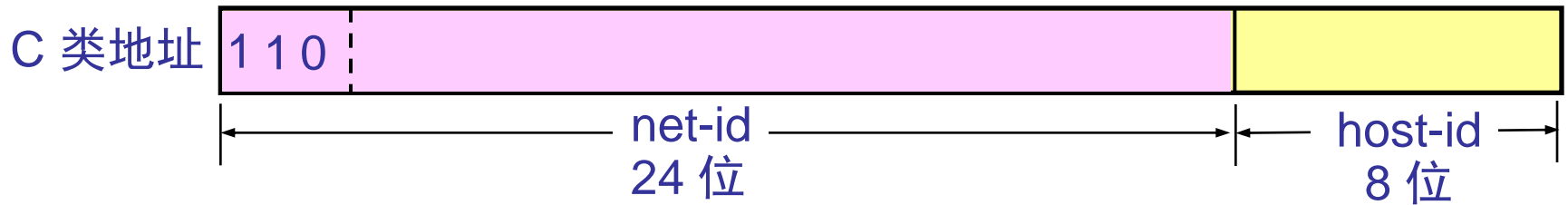
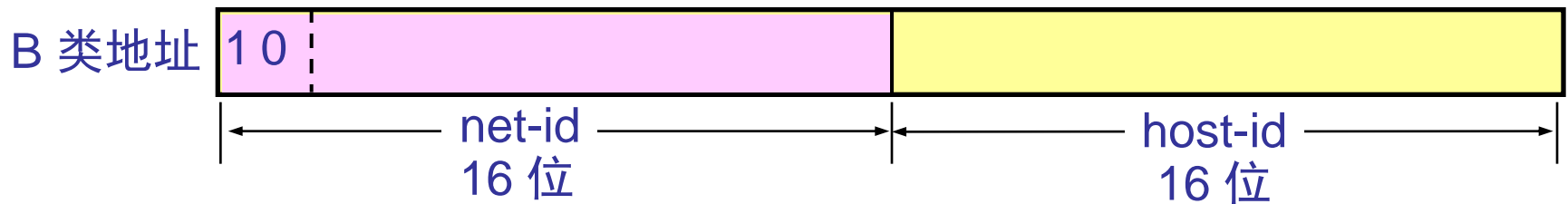
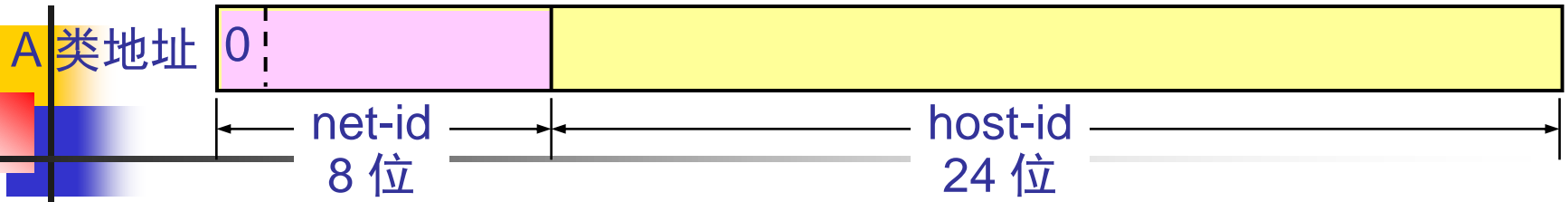
网际层的IP协议及配套协议



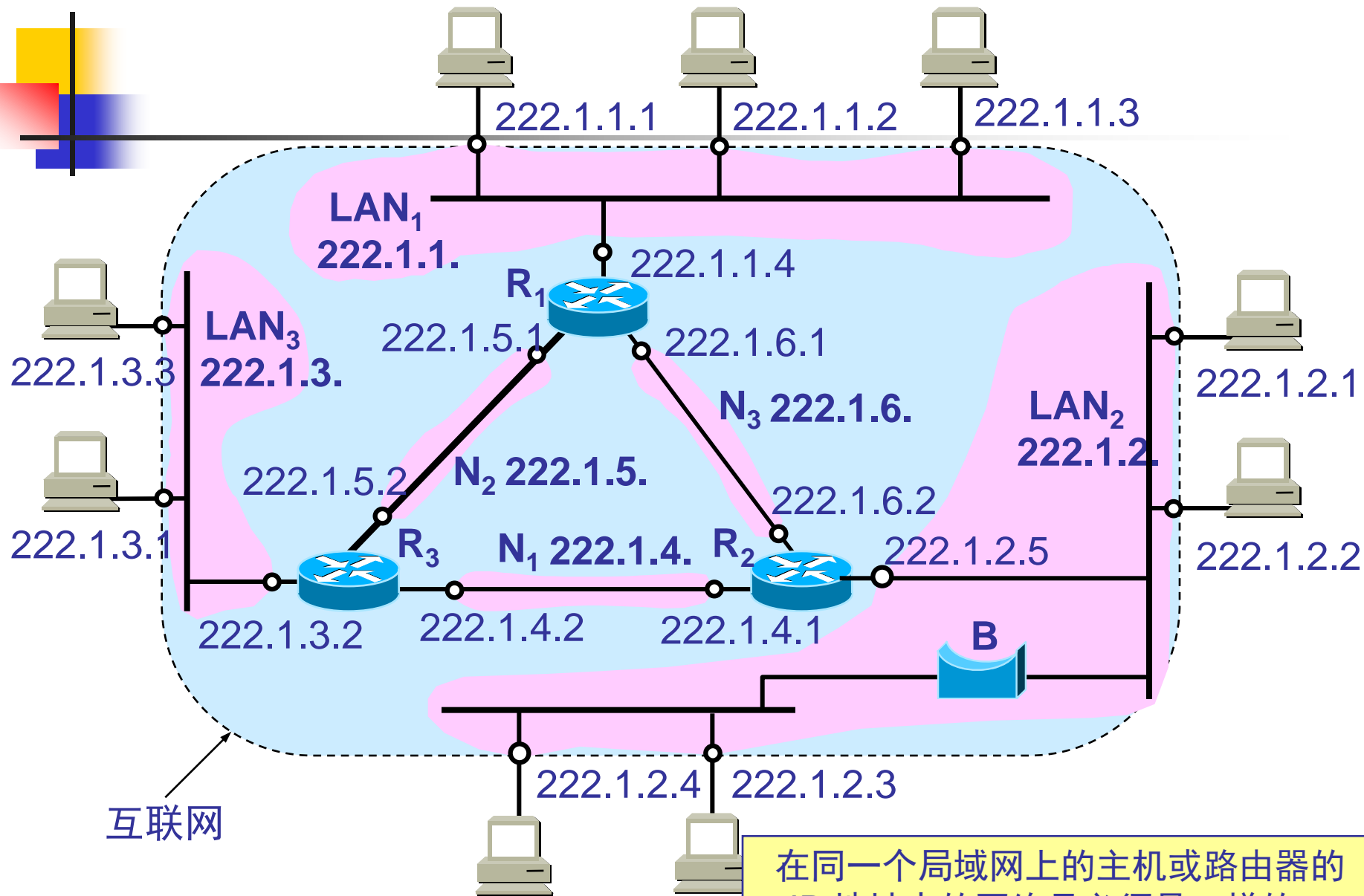
分组在互联网中的传送



IP 地址中的网络号字段和主机号字段

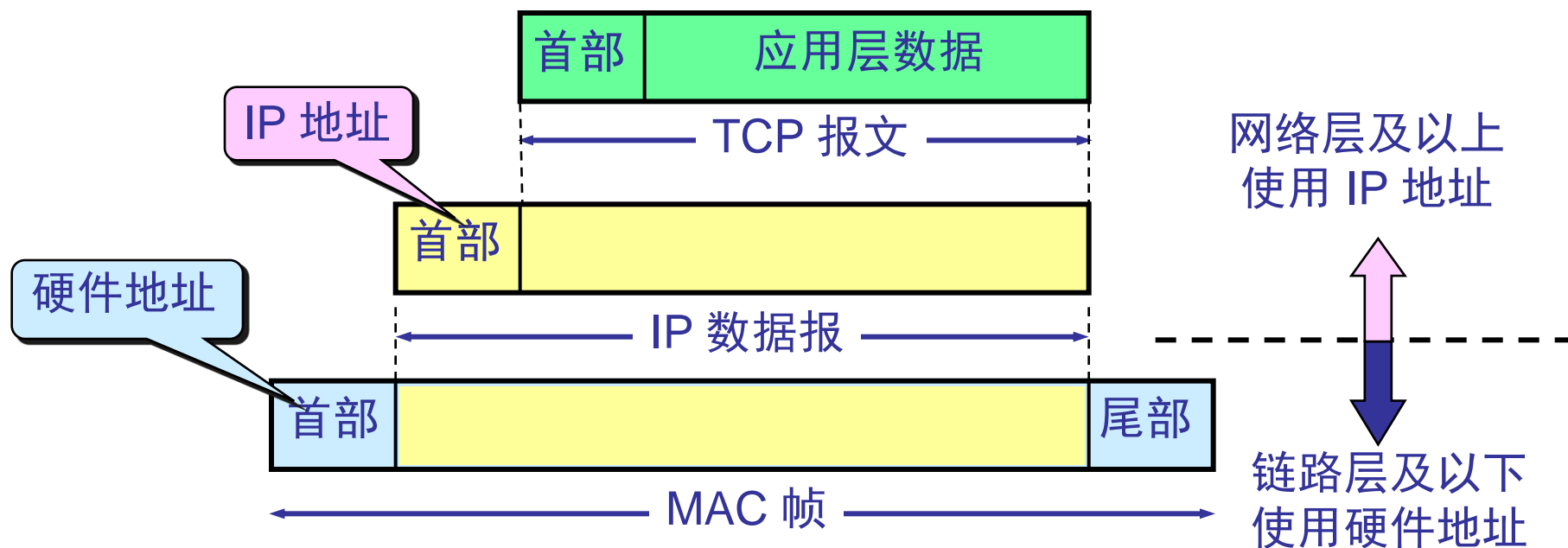


互联网中的 IP 地址

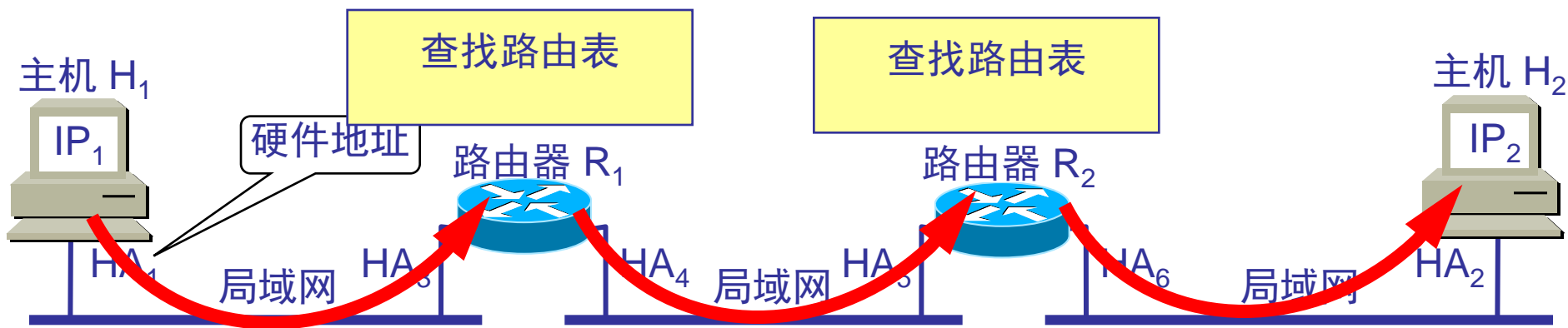


在同一个局域网上的主机或路由器的 IP 地址中的网络号必须是一样的。

IP 地址与硬件地址



数据报的转发过程举例



通信的路径

$H_1 \rightarrow$ 经过 R_1 转发 \rightarrow 再经过 R_2 转发 $\rightarrow H_2$

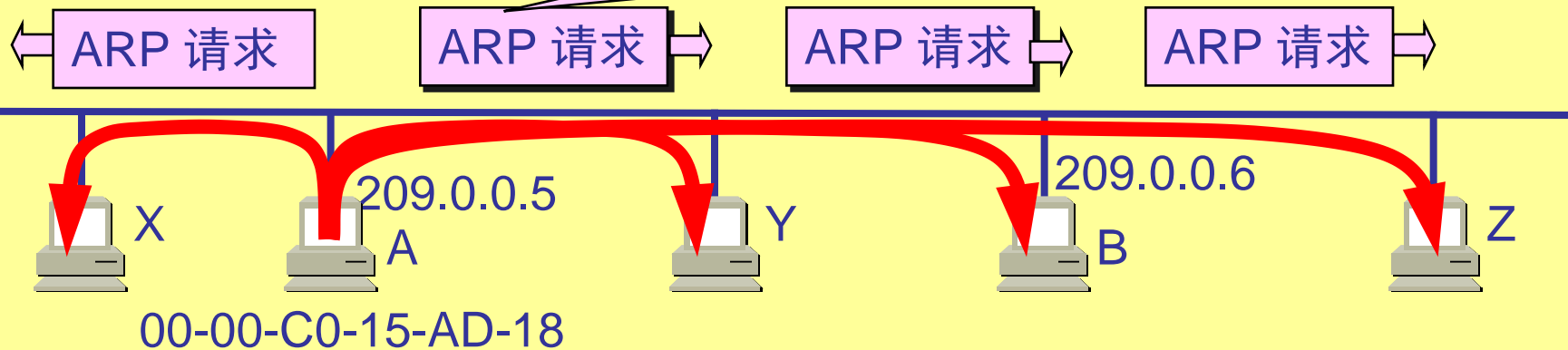


地址解析协议 ARP

- 在每一个主机都设有一个 ARP 高速缓存(ARP cache), 里面有所在的局域网上的各主机和路由器的 IP 地址到硬件地址的映射表。
- 当主机 A 欲向**本局域网**上的某个主机 B 发送 IP 数据报时, 就先在其 ARP 高速缓存中查看有无主机 B 的 IP 地址。
 - 如有, 就可**查出**其对应的硬件地址, 再将此硬件地址写入 MAC 帧, 然后通过局域网将该 MAC 帧发往此硬件地址。
 - 若无, 则主机 A 自动运行 ARP 程序, **找出**主机 B 的硬件地址并记入 ARP 缓存中。
- 当要找的主机和源主机不在同一个局域网时, 则 ARP 要找位于本局域网上的某个路由器的硬件地址, 然后把分组发送给这个路由器, 让这个路由器把分组转发给下一个网络。剩下的工作就由下一个网络来做。

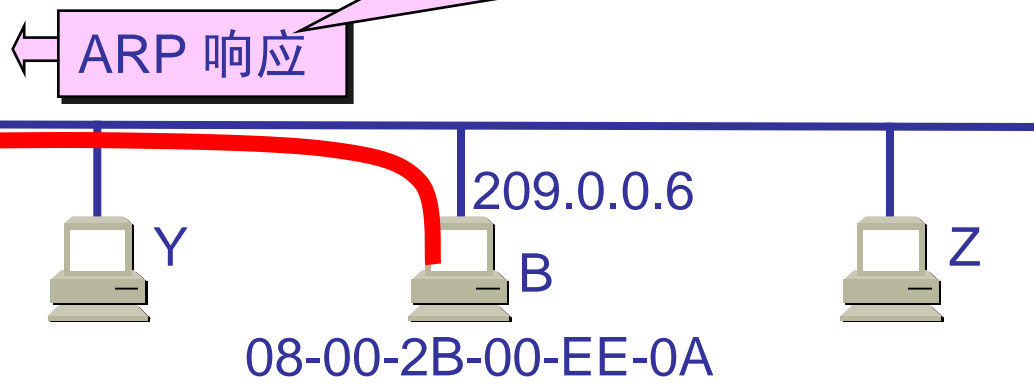
主机 A 广播发送
ARP 请求分组

我是 209.0.0.5，硬件地址是 00-00-C0-15-AD-18
我想知道主机 209.0.0.6 的硬件地址

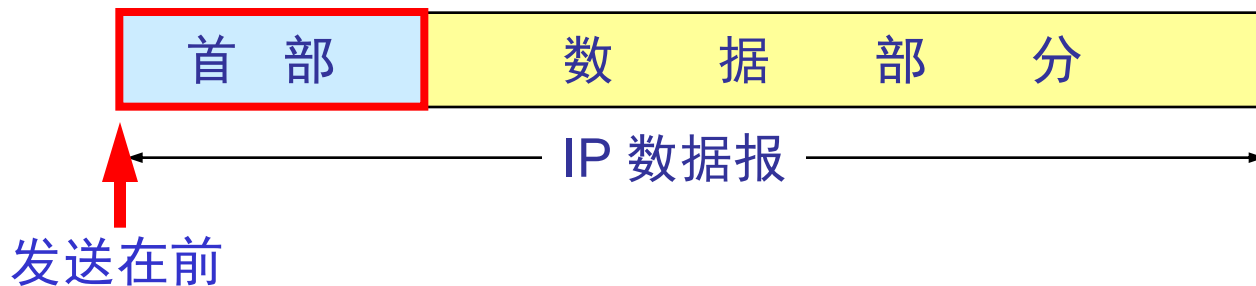


主机 B 向 A 发送
ARP 响应分组

我是 209.0.0.6
硬件地址是 08-00-2B-00-EE-0A



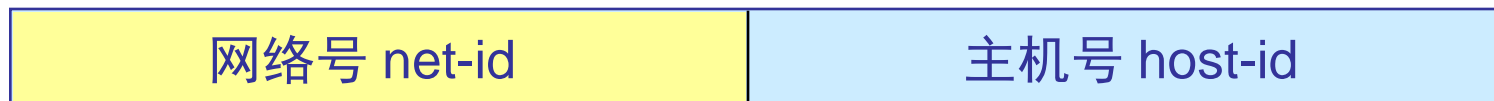
IP数据报格式 (IPv4)



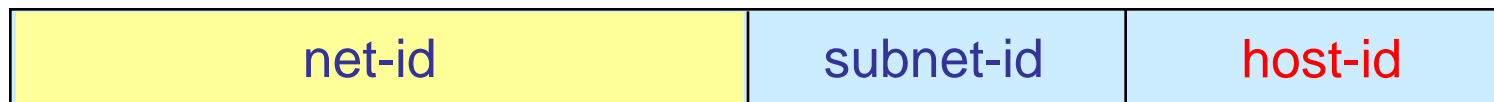


(IP 地址) AND (子网掩码) = 网络地址

两级 IP 地址

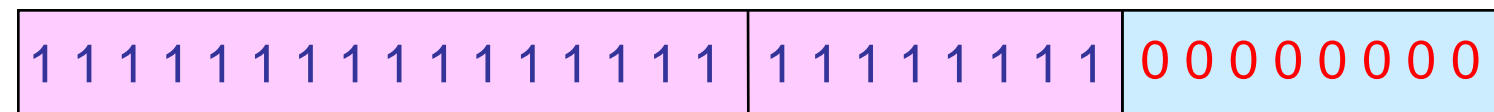


三级 IP 地址

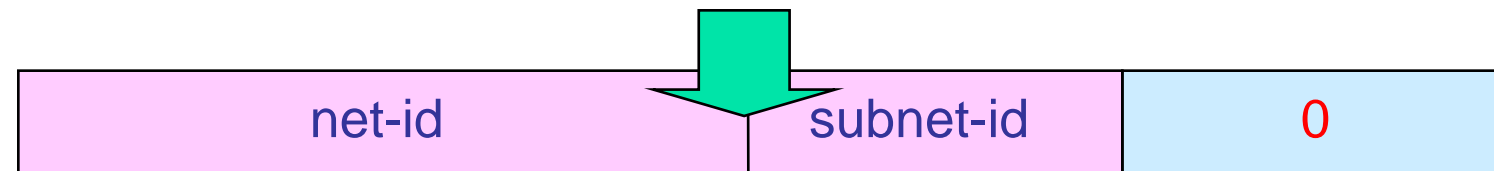


逐位进行 AND 运算

子网掩码



子网的
网络地址

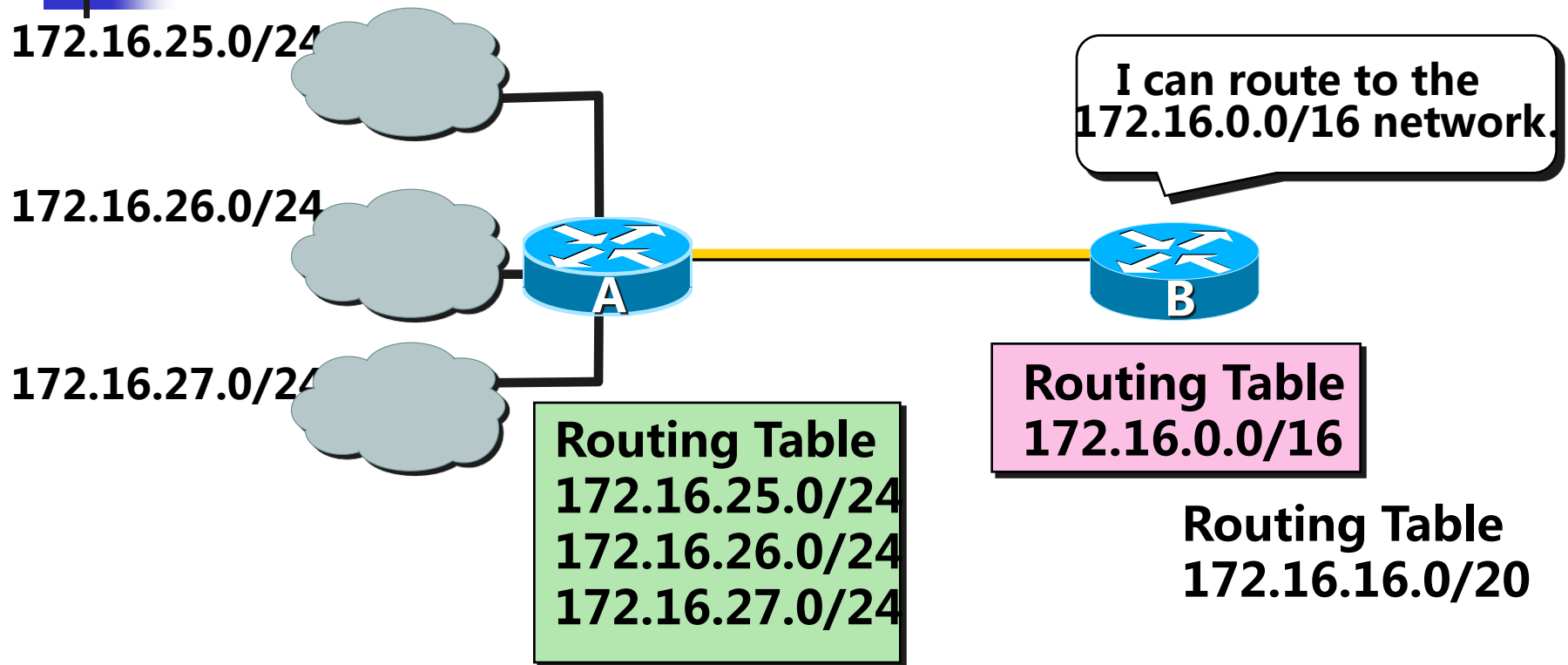




划分子网情况下 路由器的分组转发算法

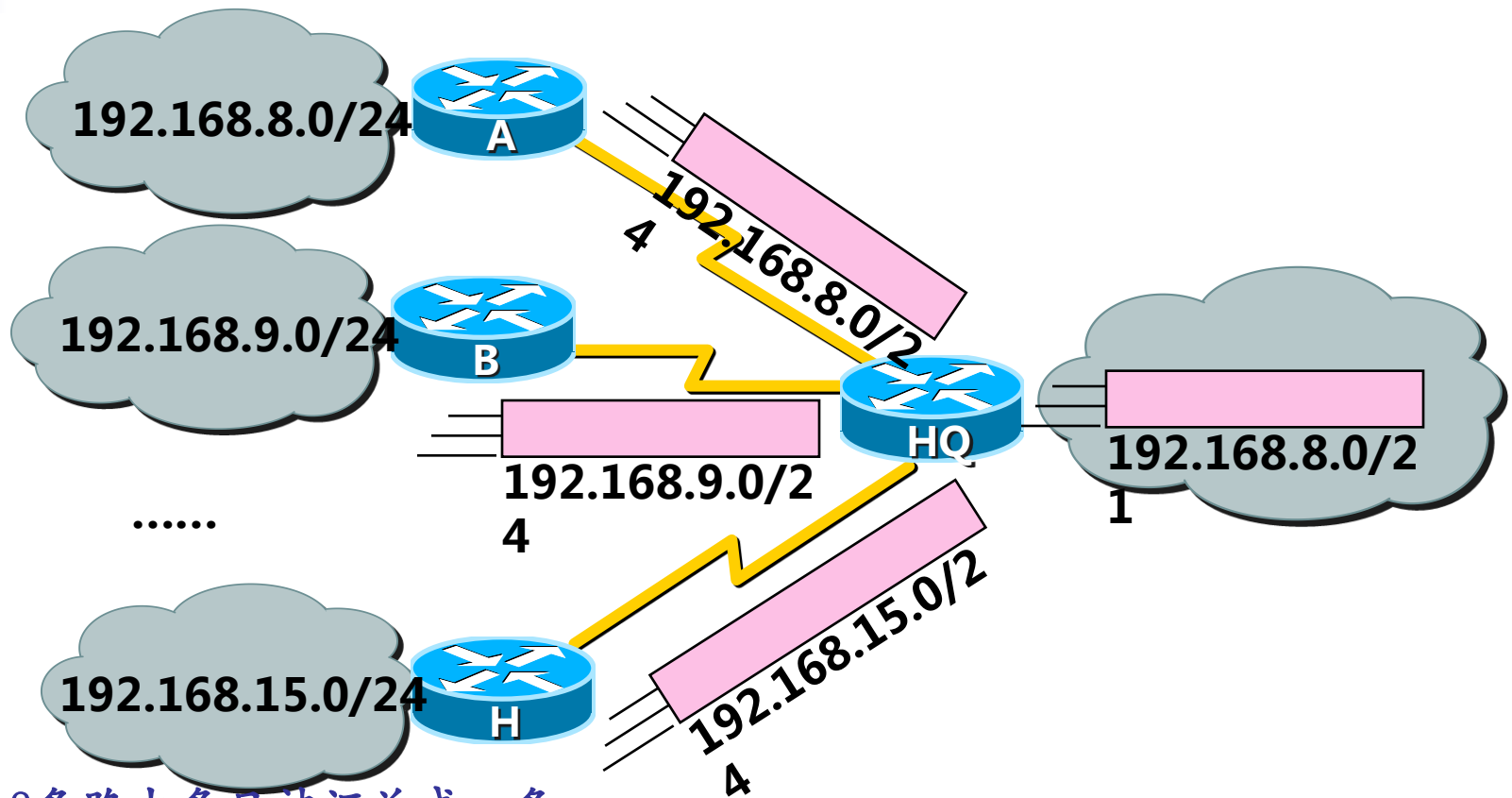
- (1) 从收到的数据报的首部提取目的IP地址D。
- (2) 先用与路由器直接相连的各网络的子网掩码和D逐位相“与”，看是否和相应的网络地址匹配。若匹配，则将分组直接交付，任务结束。否则就是间接交付，执行(3)。
- (3) 若路由表中有目的地址为D的特定主机路由，则将分组传送给指明的下一跳路由器；否则，执行(4)。
- (4) 对路由表中的每一行的子网掩码和D逐位相“与”，若其结果与该行的目的网络地址匹配，则将分组传送给该行指明的下一跳路由器；否则，执行(5)。
- (5) 若路由表中有一个默认路由，则将分组传送给路由表中所指明的默认路由器；否则，执行(6)。
- (6) 报告转发分组出错。

路由汇总 (Route Summarization)



- 路由协议能够将几条路由条目汇总成一条
- Routing protocols can summarize addresses of several networks into one address

路由汇总（聚合）



- 8条路由条目被汇总成一条
- Networks 192.168.8.0/24 through 192.168.15.0/24 are summarized by in one advertisement 192.168.8.0/21



ARP与ICMP

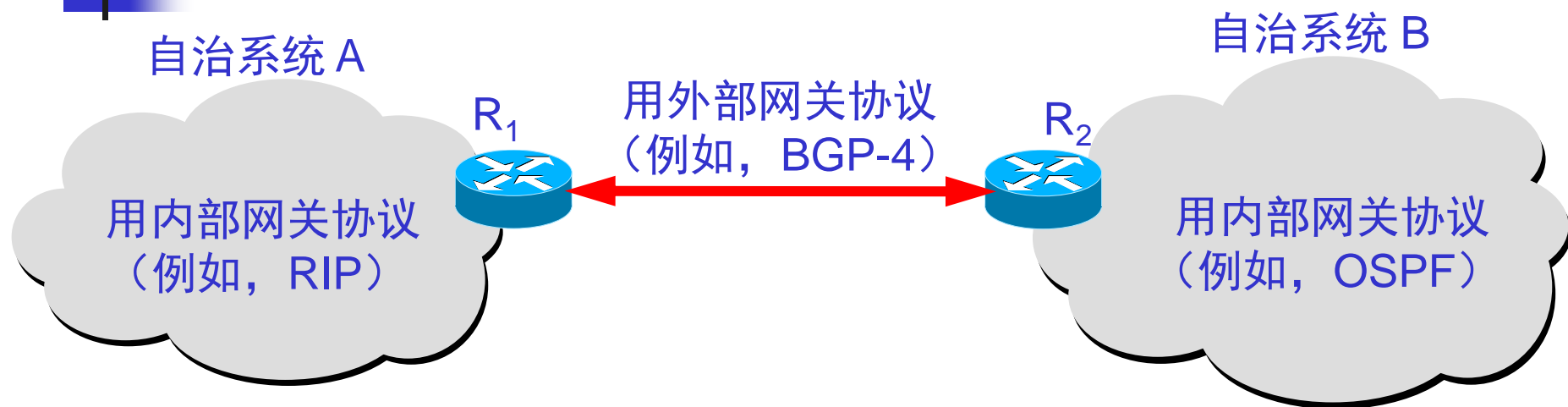
- ARP：地址解析协议，通过IP地址获取物理地址（在局域网内部进行）。主机和路由器都具有ARP缓存功能。
- IP数据报格式，关注数据报各层间的关系、TTL
- 路由器，路由器对网络层数据包的转发流程
- ICMP：网际控制报文协议，有ICMP差错报告报文和ICMP询问报文两种。ICMP允许主机或路由器报告差错情况和提供有关异常情况的报告。



路由选择协议

- 路由选择——路由器间交互信息以便形成路由表，再导出转发表
- 自治系统（AS）：一个单一技术管理下的一组路由器组成的网络
- 两种路由选择策略
 - 静态路由选择策略
 - 动态路由选择策略
- 路由选择协议（Routing Protocol）：为路由器提供用于建立路由表所需的路由信息。
- 两类路由选择协议
 - 距离向量路由选择协议（RIP、IGRP）
 - 链路状态路由选择协议（OSPF、IS-IS）
- 路由选择协议：
 - 内部网关协议（IGP）：自治系统内部的路由选择协议
 - RIP：路由信息协议，是一种分布式的基于距离向量的路由选择协议。相邻路由器间定期交换路由表。
 - OSPF：开放最短路径优先协议，是一种分布式的链路状态路由协议。链路状态改变时洪泛发送邻居信息。
 - 外部网关协议（EGP）：自治系统之间的路由选择协议
 - BGP-4：一种路径向量路由选择协议。

自治系统AS与IGP、EGP



自治系统之间的路由选择也叫做
域间路由选择(interdomain routing),
在自治系统内部的路由选择叫做
域内路由选择(intradomain routing)



RIP 协议的优缺点

- 优点：算法简单，开销较小。
- 缺点：
 - 当网络出现故障时，要经过比较长的时间才能将此信息传送到所有的路由器。（好消息传得快、坏消息传得慢）
 - 只适合于小型的同构网络（最大距离为15）。
 - 路由器之间交换的路由信息是路由器的完整路由表，当网络规模扩大时，开销也就增加。
 - 每隔30秒一次路由信息广播，可能形成广播风暴。



OSPF的三个要点

- 向本自治系统中所有路由器发送信息，这里使用的方法是洪泛法。
- 发送的信息是与本路由器相邻的所有路由器的链路状态。
 - “链路状态”指本路由器都和哪些路由器相邻，以及该链路的“度量”(metric)。
 - 度量（代价）：可为费用、距离、时延、带宽.....
- 只有当链路状态发生变化时，路由器才用洪泛法向所有路由器发送此信息。



路由器的功能

- 路由器是一种具有多个输入端口和多个输出端口的专用计算机，其任务是转发分组。即将路由器某个输入端口收到的分组，按照分组要去的目的地（即目的网络），从路由器的某个合适的输出端口转发给下一跳路由器。
- 路由器的功能：
 - 实现远程网络的互联（DDN、LAN、ATM…）
 - 数据在各种链路协议间的转换（HDLC、PPP、FR）
 - 流量管理（QOS）
 - 互联网络的“邮递员”——数据包路由（静态路由、动态路由…）



路由器的构成

- 路由选择部分（控制部分）：核心构件是路由选择处理机
 - 路由选择处理机：根据选定的路由选择协议构造、更新与维护路由表。
- 分组转发部分（交换结构）
 - 交换结构：根据转发表对分组进行处理，分发。
 - 输入端口：数据经物理层、数据链路层到达网络层，若该数据为路由选择包，则交由路由选择处理机，若是数据包，则查询转发表（每个输入端口都有一个转发表副本）进行转发。
 - 输出端口：将网络层数据转化为物理层数据发出。

典型的路由器结构

3——网络层
2——数据链路层
1——物理层

路由选择处理机

路由选择协议

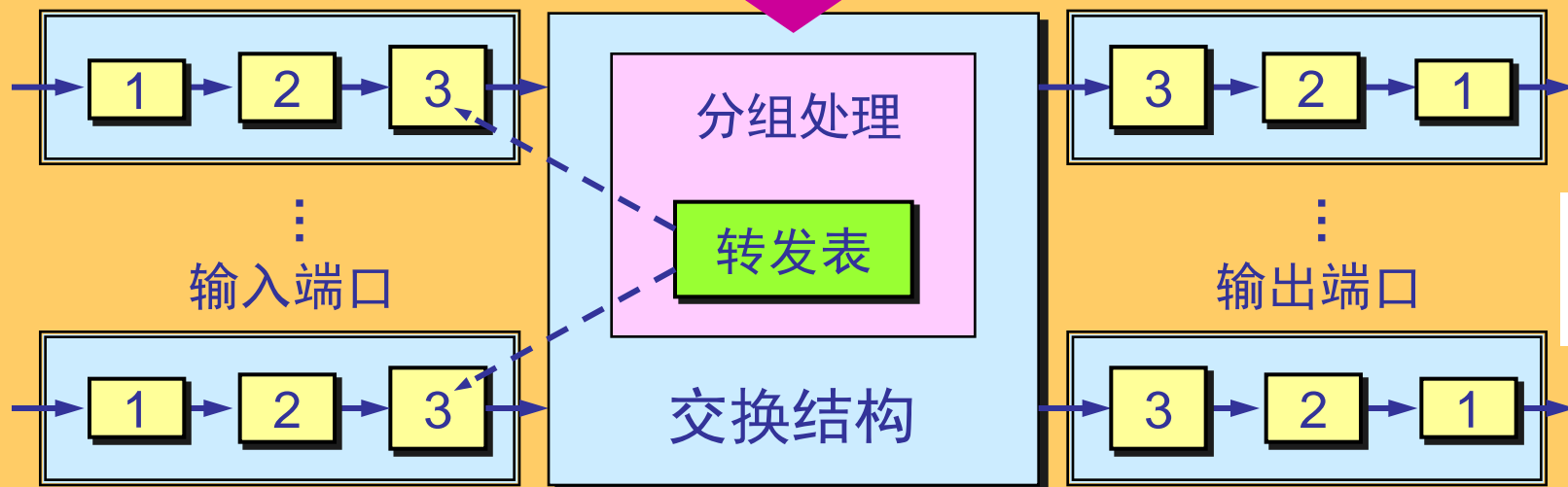
路由表

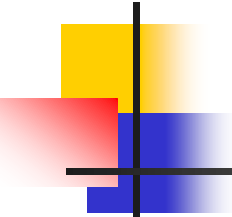
路由选择

输入端口

输出端口

分组转发





“转发”和“路由选择”的区别

- “转发” (forwarding) 就是路由器根据转发表将用户的 IP 数据报从合适的端口转发出去。
- “路由选择” (routing) 则是按照分布式算法，根据从各相邻路由器得到的关于网络拓扑的变化情况，动态地改变所选择的路由。
- 路由表是根据路由选择算法得出的。而转发表是从路由表得出的。
- 在讨论路由选择的原理时，往往不去区分转发表和路由表的区别



分组丢弃

- 路由器中的输入或输出队列产生溢出
- 分组出错
- 设备或线路故障



IP 多播与IGMP

- 多播也称组播，一对多的通信
- D类组播地址与IPV4的多播组地址——D类地址
 - 以1110开头的IP地址：224.0.0.0~239.255.255.255
 - IPv6多播地址：FF00::/8
- 以太网硬件组播地址
 - TCP/IP 协议使用的以太网多播地址块的范围是：从 00-00-5E-00-00-00 到 00-00-5E-FF-FF-FF
- IP多播使用多播地址，需要使用IGMP和多播路由选择协议
- IGMP：网际组管理协议
 - 让连接在本地局域网上的多播路由器知道本局域网上是否有主机参加或退出了某个多播组。



VPN与NAT

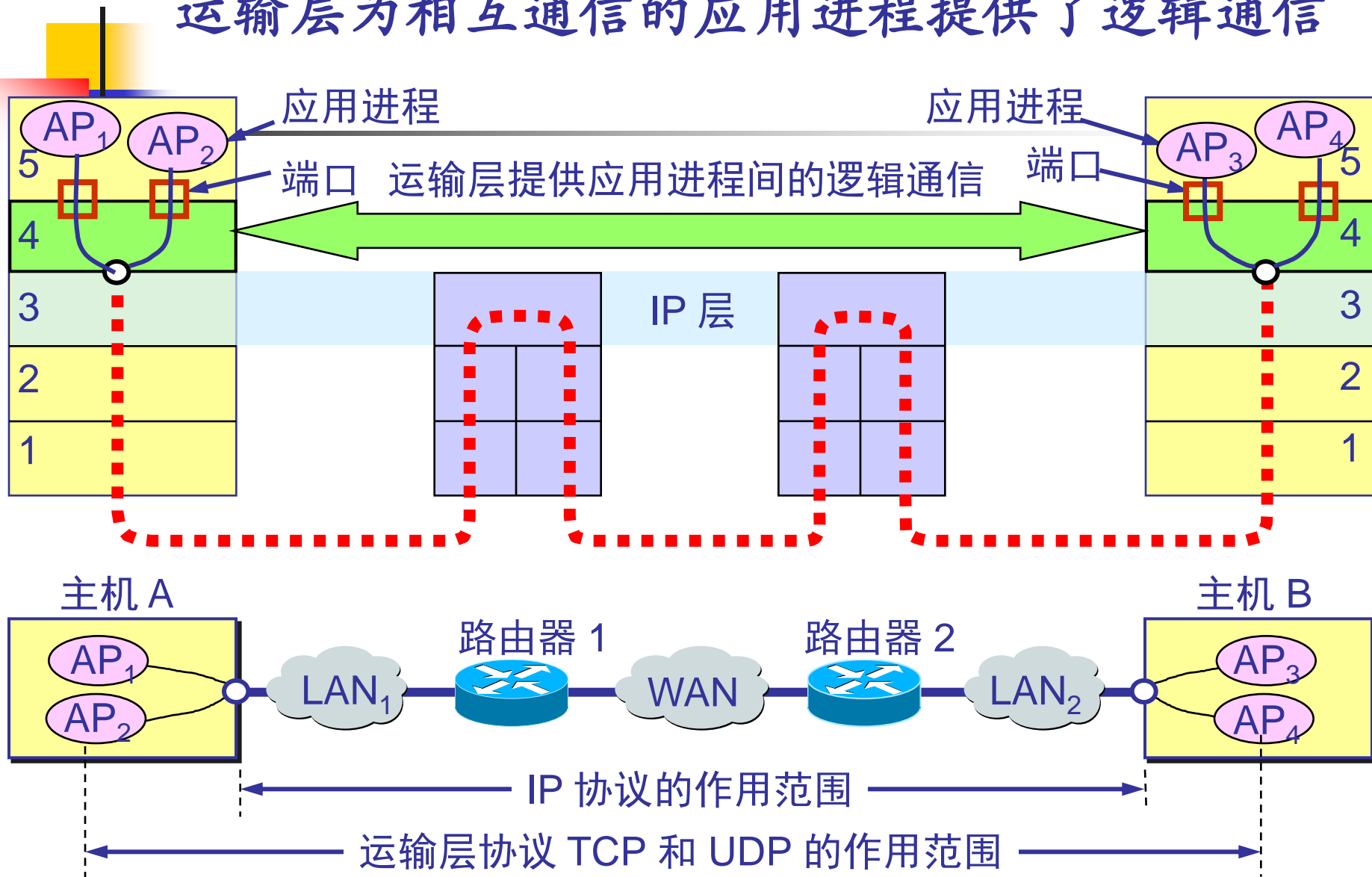
- 专用地址(private address或reusable address)
 - 10.0.0.0 ~10.255.255.255 (即10.0.0.0/8)
 - 172.16.0.0 ~172.31.255.255 (即172.16.0.0/12)
 - 192.168.0.0 ~192.168.255.255 (即192.168.0.0/16)
- VPN：虚拟专用网
 - 通过一个公用网络建立一个临时的、安全的连接，是一条穿过混乱的公用网络的安全、稳定的隧道。
 - VPN 虚拟专用网可以将一个专网穿过一个公网进行扩展。同时保持专网的安全和管理策略。
- NAT：网络地址转换
 - 将私有（专用）地址转化为合法IP地址的转换技术
 - NAT 功能通常被集成到路由器、防火墙、ISDN路由器或者单独的NAT设备中。装有 NAT 软件的路由器称为NAT路由器。



CH5 运输层

- 运输层提供应用进程间的端到端的逻辑通信。
- TCP的协议数据单元是segment；UDP的协议数据单元是datagram。
- 运输层的端口号（16位），用于区分一个主机的不同进程
 - 服务端的端口号（0~0x3FFF熟知端口，0x400~0xBFFF登记端口）
 - 客户端使用临时端口号（0xC000~0xFFFF）
- UDP 用户数据报协议：一种无连接的运输层协议，提供简单、不可靠的信息传送服务。
- TCP 传输控制协议：一种面向连接的、可靠的、基于字节流的运输层通信协议
- 复用：应用层所有的进程都可以通过运输层再传送到IP层
- 分用：运输层从IP层收到数据后必须交付给指定的应用进程。
- MSS (Maximum Segment Size)是 TCP 报文段中的数据字段的最大长度

运输层为相互通信的应用进程提供了逻辑通信

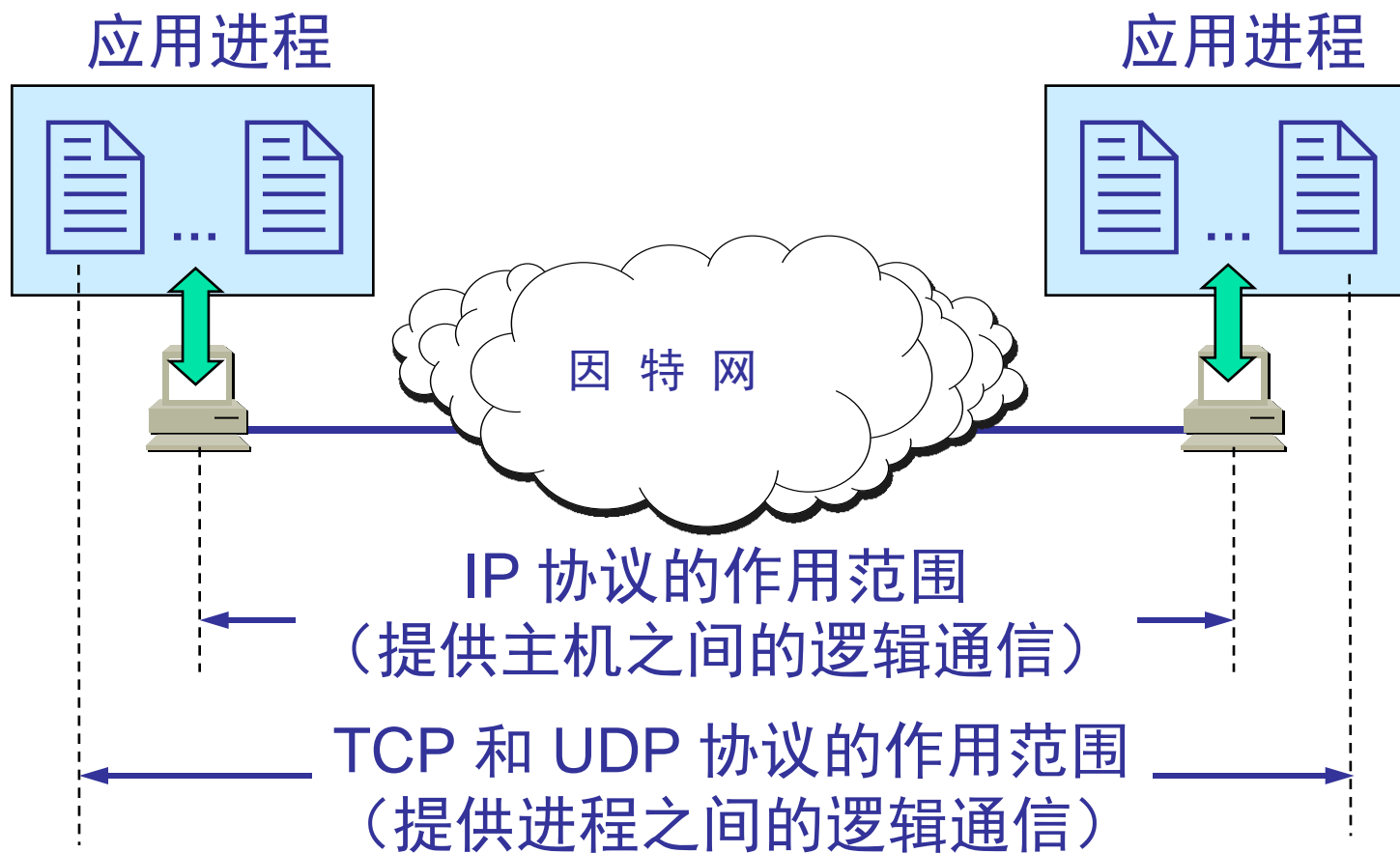




应用进程之间的通信

- 两个主机进行通信实际上就是两个主机中的**应用进程互相通信**。
- 应用进程之间的通信又称为**端到端的通信**。
- 运输层的一个很重要的功能就是**复用和分用**。应用层不同进程的报文通过不同的端口向下交到运输层，再往下就共用网络层提供的服务。
- “**运输层提供应用进程间的逻辑通信**”。“逻辑通信”的意思是：运输层之间的通信**好像是**沿水平方向传送数据。但事实上这两个运输层之间并没有一条水平方向的物理连接。

运输层协议和网络层协议的主要区别





运输层的主要功能

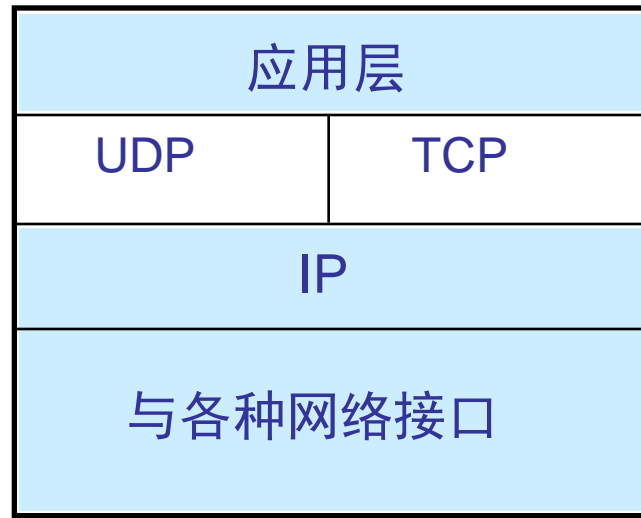
- 运输层为应用进程之间提供端到端的逻辑通信
 - 网络层为主机之间提供逻辑通信
 - 运输层向高层用户屏蔽了下面网络核心的细节（如网络拓扑、所采用的路由选择协议等），它使应用进程看见的就是好像在两个运输层实体之间有一条端到端的逻辑通信信道。
- 运输层要对收到的报文进行差错检测。
 - 网络层只对IP报头进行差错检测



两种运输层协议

- 面向连接的TCP
 - 提供一条可靠信道的逻辑通道
- 无连接的UDP
 - 提供一条不可靠信道的逻辑通道

运输层





运输层的协议数据单元

- 运输协议数据单元 TPDU (Transport Protocol Data Unit)。
 - TCP 传送的协议数据单元是 TCP 报文段(segment)
 - UDP 传送的协议数据单元是 UDP 报文或用户数据报。



TCP与UDP各自的特点

■ UDP

- 不建立连接、接收到报文后无需发出确认信息。
- 提供不可靠的交付
- 开销少、适于广播和多播。

■ TCP

- 提供可靠的、面向连接的运输服务
- 开销大（建立与释放连接、确认信息、报头大等）
- 不适于广播和多播



使用UDP和TCP的应用和应用层协议

应用	应用层协议	运输层协议
名字转换	DNS	UDP
文件传送	TFTP	UDP
路由选择协议	RIP	UDP
IP地址配置	BOOTP, DHCP	UDP
网络管理	SNMP	UDP
远程文件服务器	NFS	UDP
IP电话	专用协议	UDP
流式多媒体通信	专用协议	UDP
电子邮件	SMTP	TCP
远程终端接入	TELNET	TCP
万维网	HTTP	TCP
文件传送	FTP	TCP



说明

- 运输层的 UDP 用户数据报与网际层的 IP 数据报有很大区别。IP 数据报要经过互连网中许多路由器的存储转发，但 UDP 用户数据报是在运输层的端到端抽象的逻辑信道中传送的。
- TCP 报文段是在运输层抽象的端到端逻辑信道中传送，这种信道是可靠的全双工信道。但这样的信道却不知道究竟经过了哪些路由器，而这些路由器也根本不知道上面的运输层是否建立了 TCP 连接。



运输层的三类端口

- 运输层是使用16位的协议端口号(protocol port number)，或通常简称为端口(port)来区分应用进程。
- **熟知端口**，数值一般为 0~1023。
- **登记端口号**，数值为1024~49151，为没有熟知端口号的应用程序使用的。使用这个范围的端口号必须在 IANA 登记，以防止重复。
- **客户端口号或短暂端口号**，数值为49152~65535 (0xC000~0xFFFF)，留给客户进程选择暂时使用。当服务器进程收到客户进程的报文时，就知道了客户进程所使用的动态端口号。通信结束后，这个端口号可供其它客户进程以后使用。



常用的熟知端口号

应用程序	FTP	TELNET	SMTP	DNS
熟知端口号	21	23	25	53
应用程序	TFTP	HTTP	SNMP	SNMP (trap)
熟知端口号	69	80	161	162



UDP

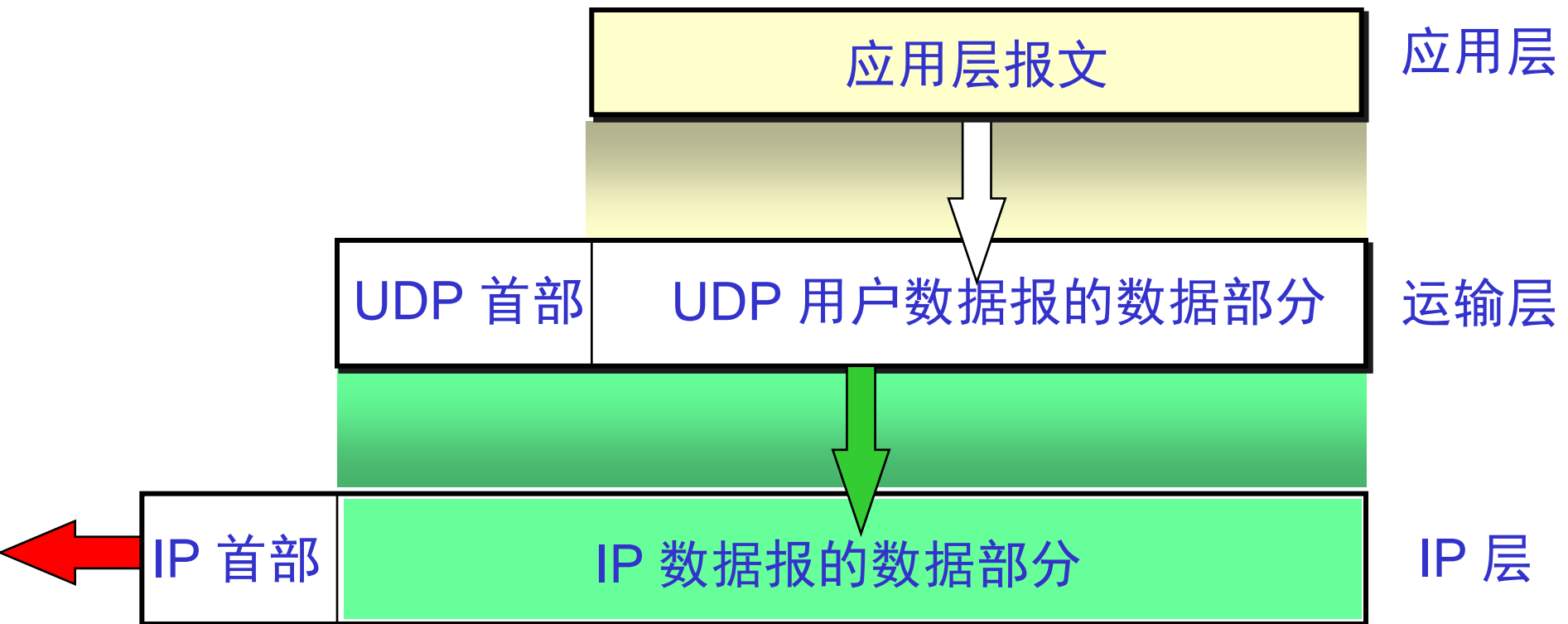
- UDP 只在 IP 的数据报服务之上增加了很少一点的功能，即端口的功能和差错检测的功能。
- 虽然 UDP 用户数据报只能提供不可靠的交付，但 UDP 在某些方面有其特殊的优点。



UDP 的主要特点

- UDP 是无连接的，即发送数据之前不需要建立连接。
- UDP 使用尽最大努力交付，即不保证可靠交付，同时也不使用拥塞控制。
- UDP 是面向报文的。对上层交下来的报文不合并也不拆分，直接加上报头，形成一个UDP报文进行传输。
- UDP 没有拥塞控制，很适合某些实时应用程序（如多媒体通信）的要求。
- UDP 支持一对一、一对多、多对一和多对多的交互通信。
- UDP 的首部开销小，只有 8 个字节。

UDP 是面向报文的



应用程序必须选择合适大小的报文。

UDP 的首部格式

字节

4

4

1

1

2

源 IP 地址

目的 IP 地址

0

17

UDP长度

字节

12

2

2

2

2

伪首部

源端口

目的端口

长 度

检验和

UDP 用户数据报

首 部

数 据

发送在前

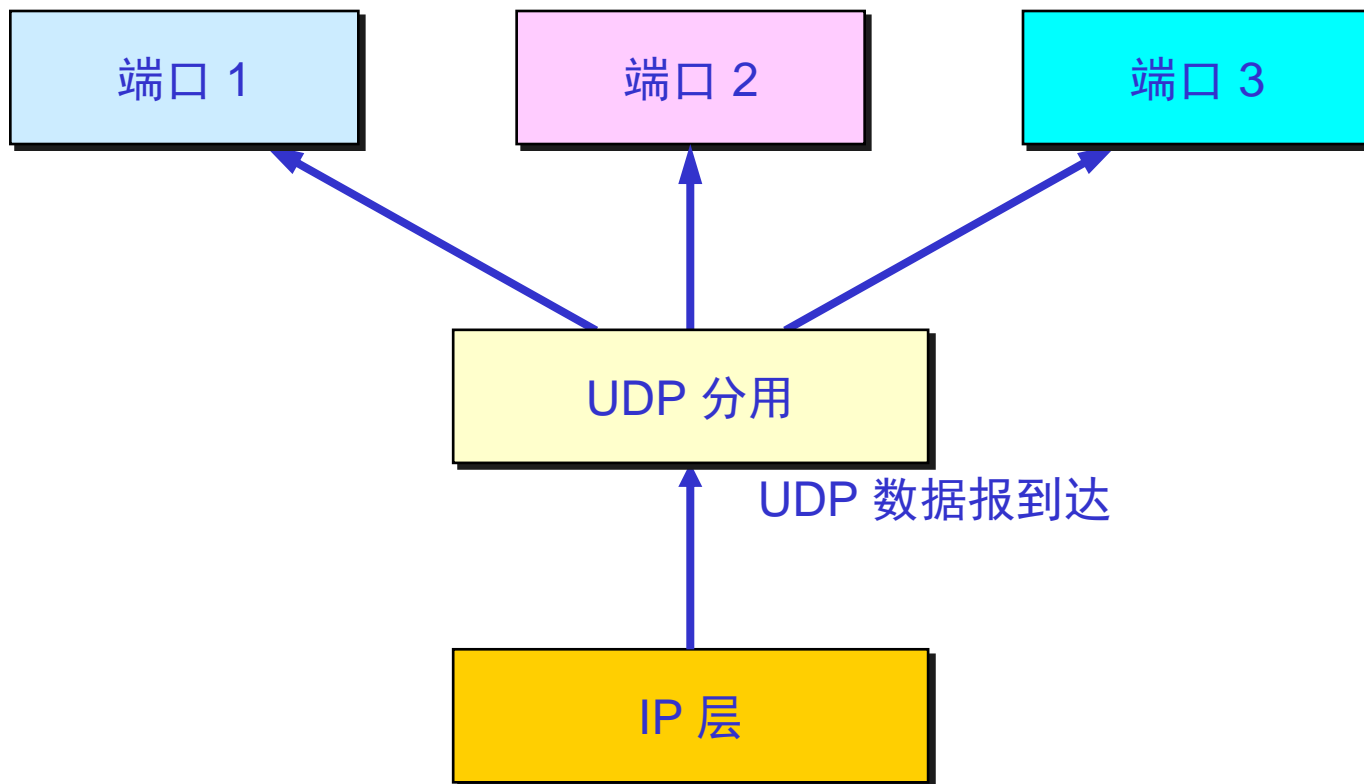
首 部

数

据

IP 数据报

UDP 基于端口的分用





TCP 最主要的特点

- Transmission Control Protocol
- TCP 是面向连接的运输层协议。
- 每一条 TCP 连接只能是点对点的（一对一）连接，即只能有两个端点(endpoint)。
- TCP 提供可靠交付的服务。
- TCP 提供全双工通信。
- 面向字节流。



TCP 的连接

- TCP 把连接作为最基本的抽象
- 每一条 TCP 连接有两个端点
- TCP 连接的端点叫做套接字(socket)
 - 注意：TCP 连接的端点不是指：主机、主机的IP地址、应用进程、运输层的协议端口
- 套接字：IP 地址+端口号



套接字 (socket)

套接字 socket = (IP地址: 端口号) (5-1)

- 每一条 TCP 连接唯一地被通信两端的两个端点（套接字对）所确定。即：

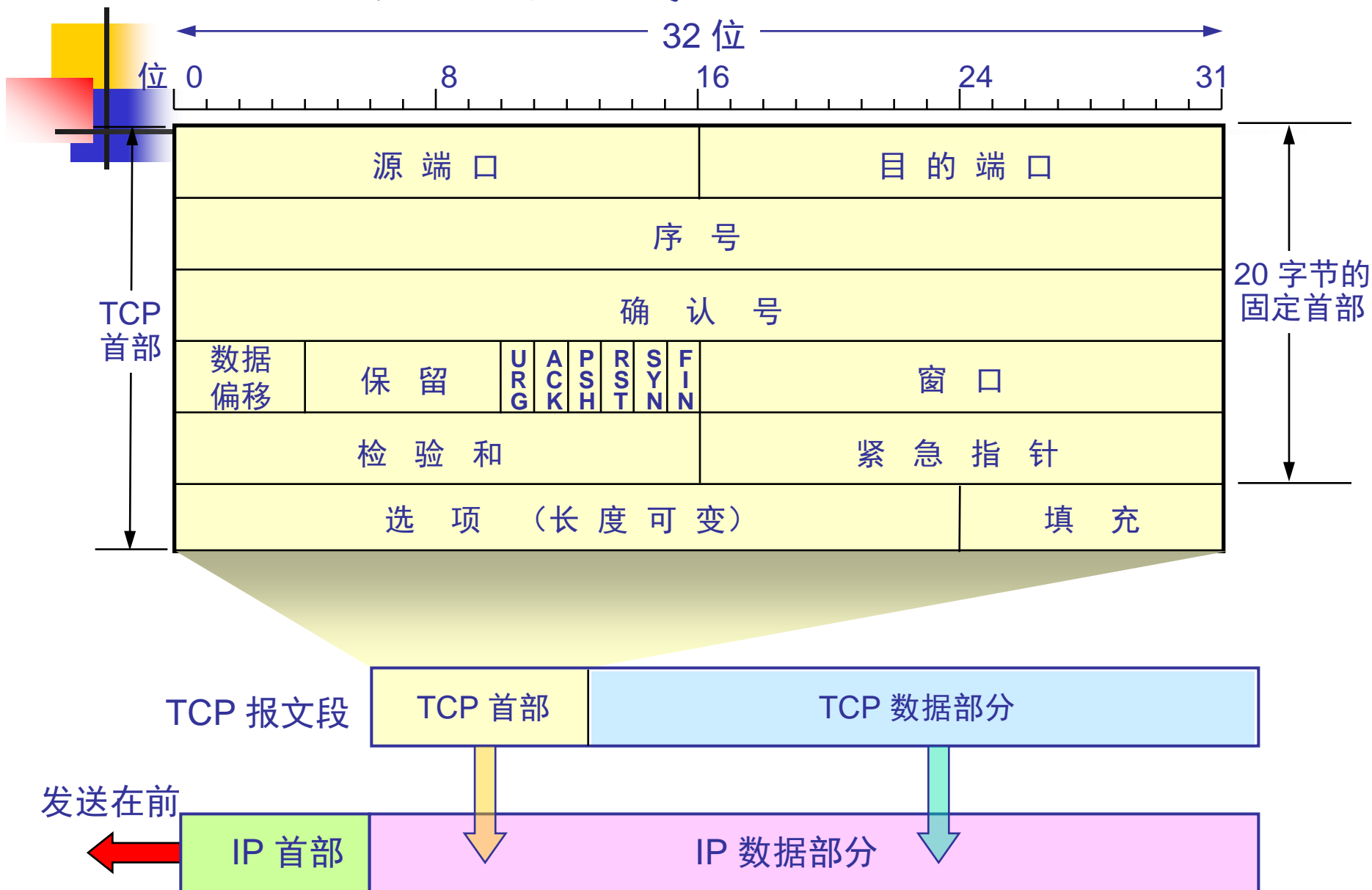
TCP 连接 ::= {socket1, socket2}
= {(IP1: port1), (IP2: port2)} (5-2)



可靠通信的实现

- 使用确认和重传机制，则可以在不可靠的传输网络上实现可靠的通信。
- 这种可靠传输协议常称为自动重传请求 ARQ (Automatic Repeat reQuest)。
- ARQ 表明重传的请求是自动进行的。
接收方不需要请求发送方重传某个出错的分组。

TCP报文格式





TCP 可靠传输的实现

- 以字节为单位的滑动窗口，大小可以由接收端控制。
- 对窗口内数据进行连续ARQ（自动重传请求ARQ (Automatic Repeat reQuest)）发送与确认
- 接收端对收到的字节流进行累计确认或选择确认，收到确认，滑动窗口才能滑动。
- 超时重传（Go-back-N），超时时间根据数据传输的具体情况而随时变化

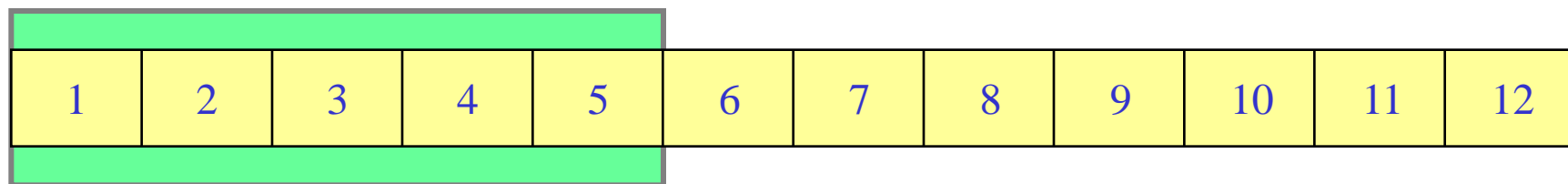


TCP 可靠通信的具体实现

- TCP 连接的每一端都必须设有两个窗口——一个发送窗口和一个接收窗口。
- TCP 的可靠传输机制用字节的序号进行控制。TCP 所有的确认都是基于序号而不是基于报文段。
- TCP 两端的四个窗口经常处于动态变化之中。
- TCP 连接的往返时间 RTT 也不是固定不变的。需要使用特定的算法估算较为合理的重传时间。

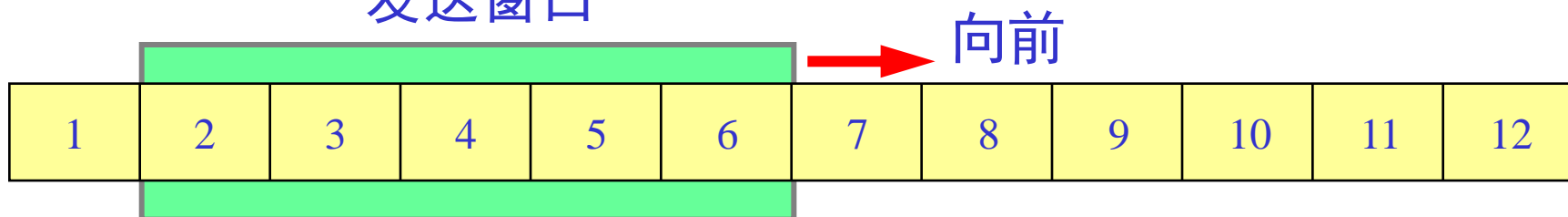
滑动窗口

发送窗口



(a) 发送方维持发送窗口（发送窗口是 5）

发送窗口



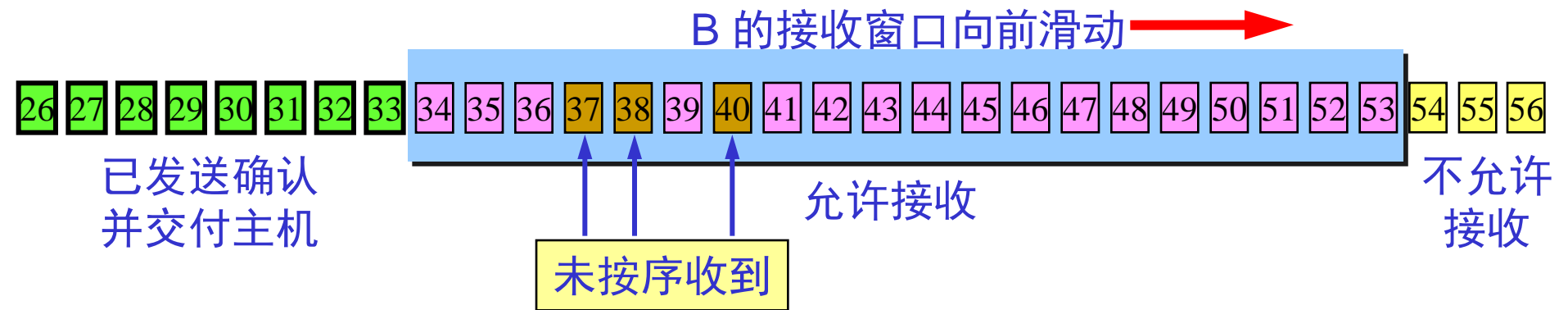
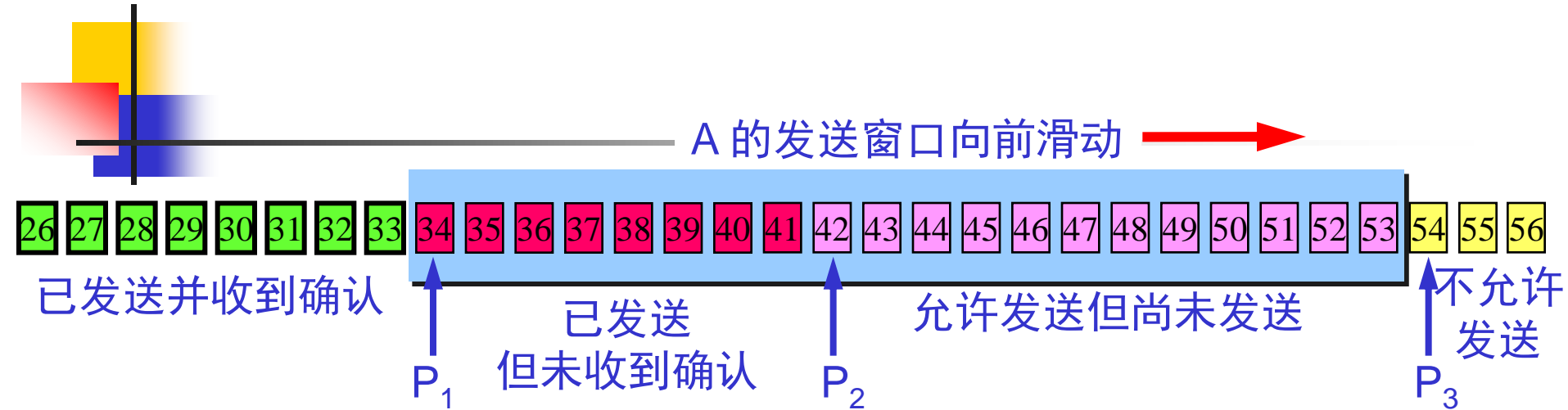
(b) 收到一个确认后发送窗口向前滑动



Go-back-N (回退 N)

- 如果发送方发送了前 5 个分组，而中间的第 3 个分组丢失了。这时接收方只能对前两个分组发出确认。发送方无法知道后面三个分组的下落，而只好把后面的三个分组都再重传一次。
- 这就叫做 Go-back-N (回退 N)，表示需要再退回来重传已发送过的 N 个分组。
- 可见当通信线路质量不好时，连续 ARQ 协议会带来负面的影响。

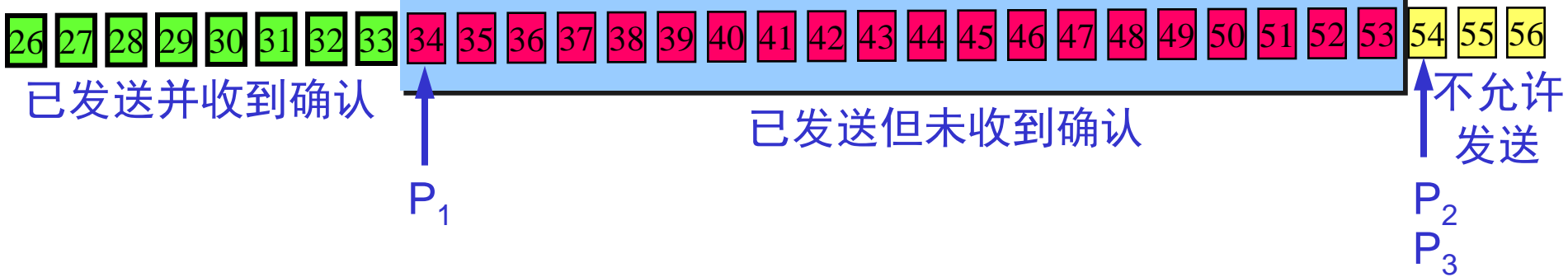
A 收到新的确认号(34)，发送窗口向前滑动



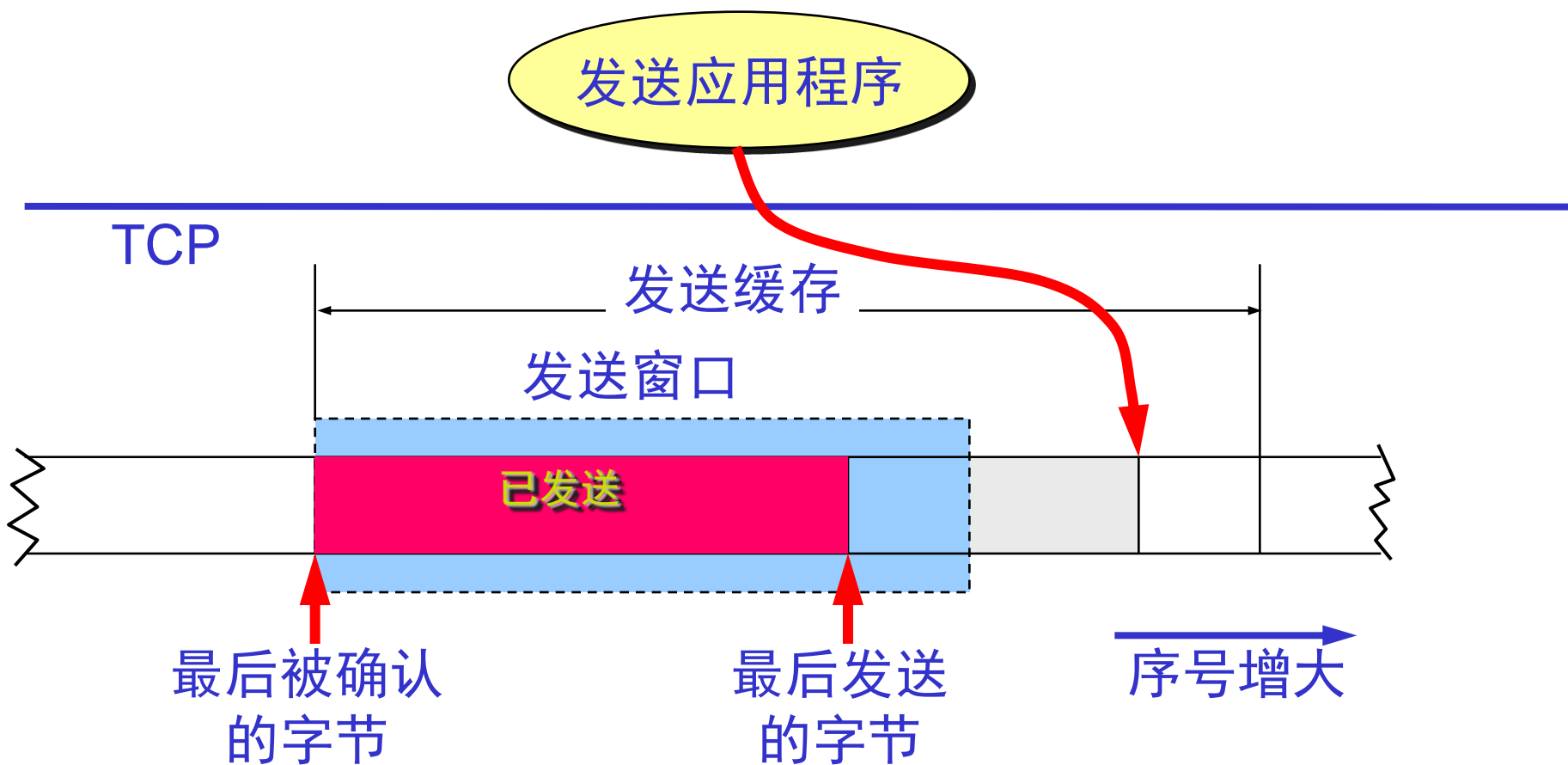
先存下，等待缺少的数据的到达

A 的发送窗口内的序号都已用完，
但还没有再收到确认，必须停止发送。

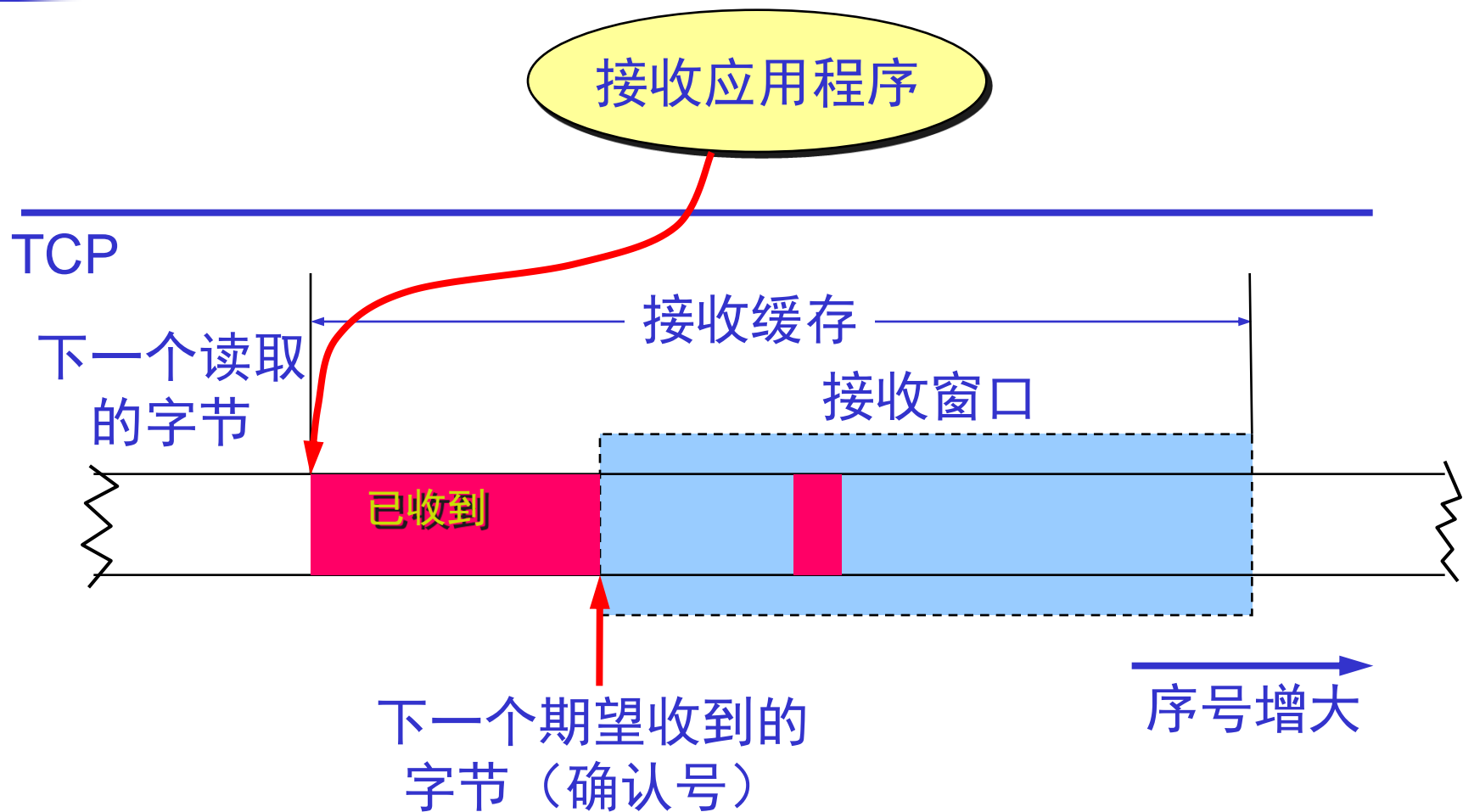
A 的发送窗口已满，有效窗口为零



发送缓存



接收缓存





发送缓存与接收缓存的作用

- 发送缓存用来暂时存放：
 - 发送应用程序传送给发送方 TCP 准备发送的数据；
 - TCP 已发送出但尚未收到确认的数据。
- 接收缓存用来暂时存放：
 - 按序到达的、但尚未被接收应用程序读取的数据；
 - 不按序到达的数据。



需要强调三点

- A 的发送窗口并不总是和 B 的接收窗口一样大（因为有一定的时间滞后）。
- TCP 标准没有规定对不按序到达的数据应如何处理。通常是先临时存放在接收窗口中，等到字节流中所缺少的字节收到后，再按序交付上层的应用进程。
- TCP 要求接收方必须有累积确认的功能，这样可以减小传输开销。可单独发送确认段，也可随数据发送时捎带确认。
 - 接收方不应过分推迟发送确认
 - 捎带确认较少发生



TCP的流量控制与拥塞控制

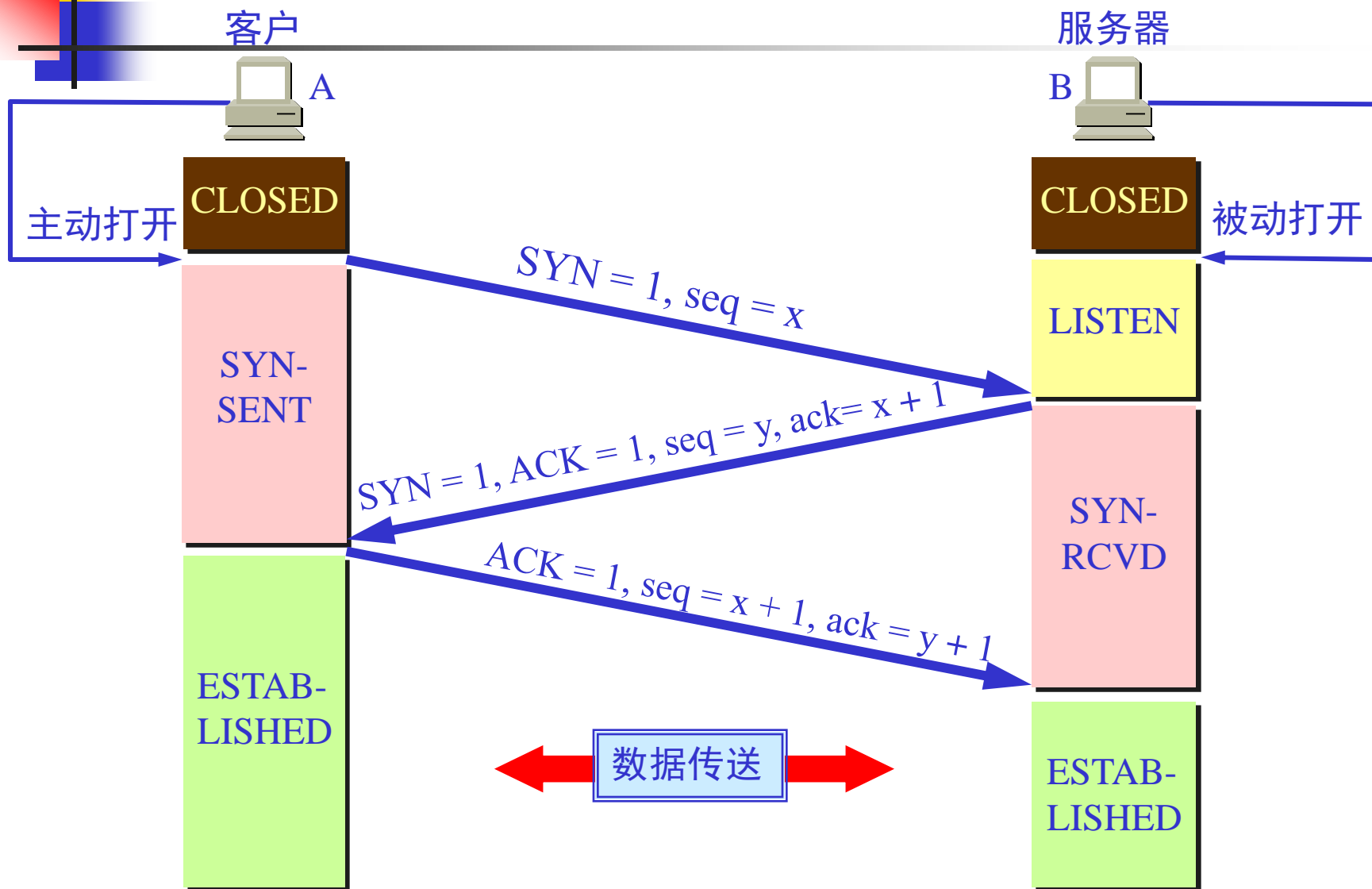
- TCP的流量控制：让发送方的发送速率不要太快，要让接收方来得及接收。接收方利用窗口字段控制发送方滑动窗口大小从而实现流量控制；必须考虑传输效率。流量控制通常是点对点通信量的控制，是个端到端的问题（接收端控制发送端）。
- TCP的拥塞控制：防止过多的数据注入到网络中，这样可以使网络中的路由器或链路不致过载。拥塞控制是一个全局性的过程，涉及到所有的主机、所有的路由器，以及与降低网络传输性能有关的所有因素。
- 几种拥塞控制方法：慢开始；拥塞避免；快重传；快恢复。通过设置拥塞窗口的大小来影响发送方的发送窗口。发送窗口 $=\min(\text{接收窗口}, \text{拥塞窗口})$

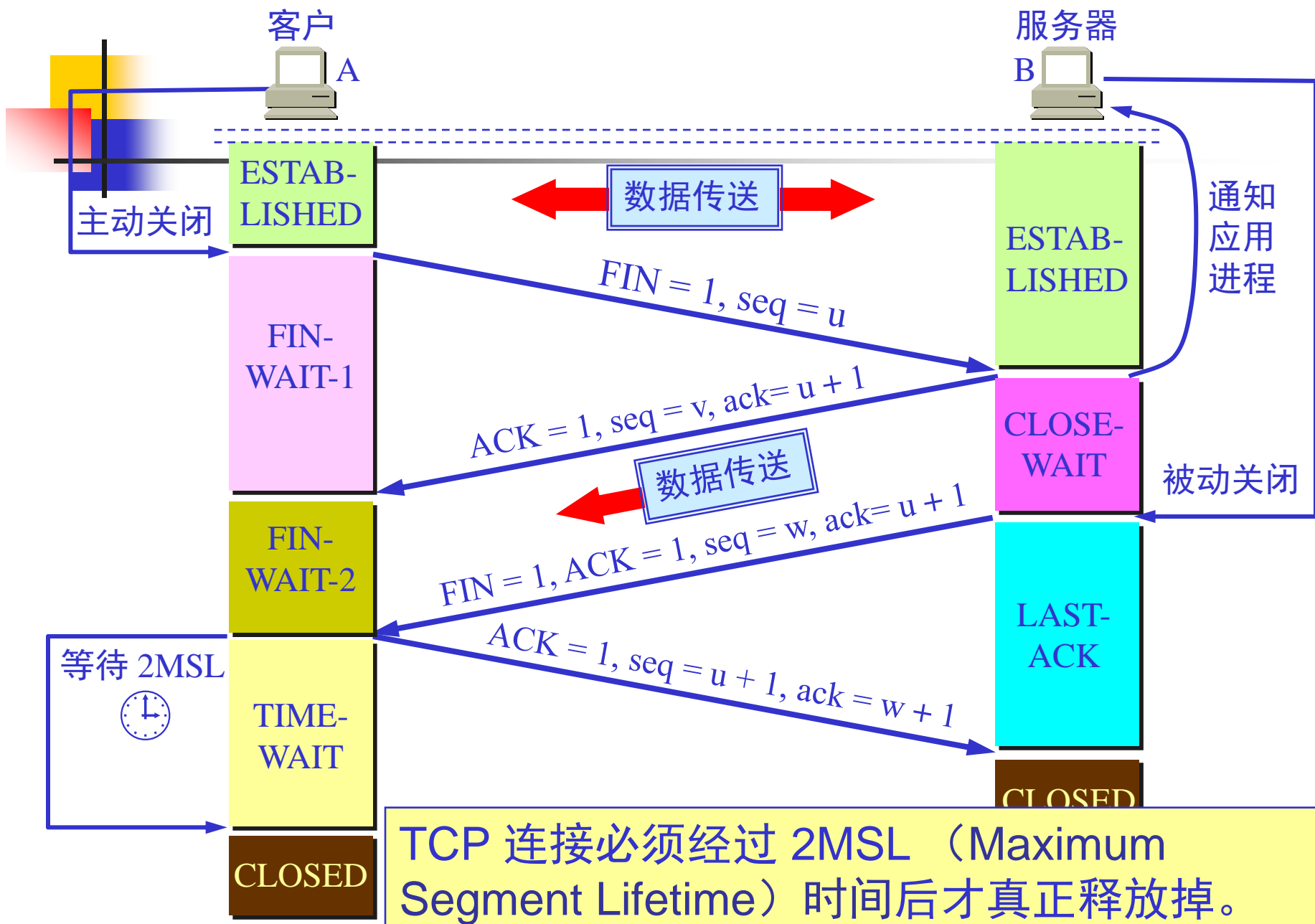


TCP的运输连接管理

- 运输连接的三个阶段：连接建立（三次握手）、数据传送和连接释放（四次握手）。
- 连接建立过程中要解决以下三个问题：
 - 要使每一方能够确知对方的存在。
 - 要允许双方协商一些参数（如最大报文段长度，最大窗口大小，服务质量等）。
 - 能够对运输实体资源（如缓存大小，连接表中的项目等）进行分配。

用三次握手建立 TCP 连接的各状态







小结

- 运输层提供应用进程间的端到端的逻辑通信。
- 运输层的协议数据单元是segment
- 端口号：是逻辑意义上的端口，端口号的范围从0到65535，
- IP地址用于标识主机；端口号用于标识应用进程。
- UDP 用户数据报协议：一种无连接的运输层协议，提供简单、不可靠的信息传送服务。
- TCP 传输控制协议：一种面向连接的、可靠的、基于字节流的运输层通信协议
- 复用：应用层所有的进程都可以通过运输层再传送到IP层
- 分用：运输层从IP层收到数据后必须交付给指明的应用进程。



小结

- TCP可靠传输的实现：以字节为单位的滑动窗口；超时重传时间的选择；选择确认SACK
- TCP的流量控制：让发送方的发送速率不要太快，要让接收方来得及接收。利用滑动窗口实现流量控制；必须考虑传输效率。
- TCP的拥塞控制：防止过多的数据注入到网络中，这样可以使网络中的路由器或链路不致过载。
- 方法：慢开始；拥塞避免；快重传；快恢复
- TCP的运输连接管理：运输连接三个阶段：连接建立；数据传送和连接释放。



Ch6 应用层

- 应用层是网络体系结构的最高层。
- 应用层直接为用户的应用进程提供服务。
- 每个应用层协议都是为解决某一类应用问题而存在。
- 许多应用层协议都是基于**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。
 - 客户是服务请求方，服务器是服务提供方。



DNS

- DNS 域名系统：是因特网使用的命名系统，用来把便于人们使用的机器名字转换为IP地址。
- DNS是一个联机分布式数据库系统，采用客户服务器方式进行访问。
- 因特网采用层次树状结构的命名方法，如何一台了解到因特网上的主机或路由器都可以有一个唯一的层次结构的名称，即域名。
- 域名到IP地址的解析是由发布在因特网上的许多域名服务器共同完成的。域名服务器分为根域名服务器、顶级域名服务器、权限域名服务器、本地域名服务器。
- 主域名服务器：为了提高域名服务器的可靠性，DNS域名服务器都把数据复制到几个域名服务器来保存，其中一个是主域名服务器，其余的是辅助域名服务器。
- 主机向本地域名服务器的查询一般都是采用递归查询；本地域名服务器向其它域名服务器的查询通常都是迭代查询。



FTP

- FTP文件传送协议使用TCP可靠的运输服务。FTP使用客户服务器方式。一个FTP服务器进程可同时为多个客户进程提供服务。在进行文件传输时，FTP的客户和服务器之间要建立两个并行的TCP连接：控制连接（传递控制信息）和数据连接（文件传输）。FTP提供交互式访问，有一个庞大的命令集，允许客户指明文件的类型与格式，并允许文件具有存取权限。
- TFTP是简单文件传输协议，基于不可靠的UDP服务。功能较FTP简单很多，没有客户与服务器间的交互式访问。



万维网

- WWW 万维网：是一个大规模的、联机式的信息储藏所，可以非常方便地从因特网上的一个站点链接到另一个站点。
- 万维网的客户程序向因特网中的服务器程序发出请求，服务器程序向客户程序送回客户所要的万维网文档。在客户程序窗口上显示出的万维网文档称为页面。
- URL统一资源定位符：是用于完整地描述Internet上文档和其它资源的地址的一种标识方法。每个文档在整个因特网的范围内具有唯一的标识符URL。
- HTTP 超文本传送协议：是Web浏览器和Web服务器间进行交互所使用的协议，它使用TCP连接进行可靠传输。HTTP本身是无连接、无状态的。HTTP/1.1使用了持续连接（分为非流水线、流水线方式）。



万维网

- HTML 超文本标记语言：是万维网文档的标准语言，用它描述的文档可以在不同计算机上显示相同的页面。
- 万维网静态文档是指在文档创作完毕后就存放在万维网服务器中，在被用户浏览的过程中，内容不会改变。动态文档是指文档的内容在浏览器访问万维网服务器时才由应用程序动态创建。
- 活动文档技术可以使浏览器屏幕连续更新。活动文档可与用户直接交互，并可连续地改变屏幕的显示。
- 在万维网中用来进行搜索的工具叫做搜索引擎。搜索引擎大体上可划分为全文检索搜索引擎和分类目录搜索引擎两大类。



邮件协议

- 一个电子邮件系统有三个主要组成构建：
 - 用户代理、邮件服务器、邮件协议（常用的有邮件发送协议SMTP、邮件读取协议POP3）
- SMTP协议：用于交换电子邮件。即把邮件从用户代理传送到邮件服务器，以及在邮件服务器之间的传送
- POP3（或IMAP）协议：用于用户代理从邮件服务器读取邮件时。
- 基于万维网的电子邮件：用浏览器收发电子邮件。浏览器与邮件服务器间的邮件传送采用HTTP协议。
- DHCP：动态分配IP地址



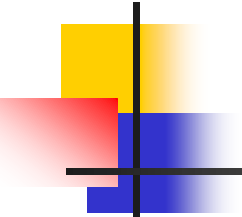
SNMP

- 简单网络管理协议SNMP由三部分组成：
 - SNMP本身，否则读取和改变各代理中的对象名及其状态数值。
 - 管理信息结构SMI，定义命名对象类型（包括范围和长度）的通用规则，以及把对象和对象的值进行编码的基本编码规则BER。
 - 管理信息库MIB，在被管理的实体中创建了命名对象，并规定了其类型。



网络编程-Socket函数

- 系统调用接口也称应用编程接口API，是应用程序与操作系统间的接口。
- 套接字及其相关函数即是操作系统提供的应用程序与运输层间的接口。通过套接字，应用进程可以从操作系统获得网络通信服务。

- 
- 套接字是应用进程和运输层协议之间的接口，是应用进程为了获得网络通信服务而与操作系统进行交互时使用的一种机制。在创建套接字时，需要设置若干参数，即一个**数据结构**。在通信前必须要绑定一些参数。