

第一章 概述

本章最重要的内容：

- (1) 互联网**边缘部分**和**核心部分**的作用，其中包含**分组交换**的概念。
- (2) 计算机网络的性能指标。
- (3) 计算机网络分层次的体系结构，包含协议和服务的概念。这部分

- 1.21 世纪的重要特征：**数字化、网络化、信息化**，以网络为核心的信息时代。
- 2.三大类网络：电信网络、有线电视网络和计算机网络。
- 3.互联网两个重要基本特点：**连通性和共享**。
- 4.**计算机网络**（简称**网络**）由若干**结点**和连接这些结点的**链路**组成。
- 5.通过路由器互连起来的网络：**互连网**：网络的**网络**。
- 6.网络把许多计算机连接在一起，而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**。
- 7.**三级结构**的互联网：主干网、地区网和校园网（或企业网）。
- 8.多层 ISP 结构的互联网：**互联网服务提供者 ISP**。ISP 译为互联网服务提供商。主干 ISP，地区 ISP,本地 ISP。
- 9.互联网的组成：
 - 边缘部分**：连接在互联网上的主机组成。**用户直接使用**，用来进行通信和资源共享。
 - 核心部分**：由大量网络和连接这些网络的路由器组成。**为边缘部分提供服务**（连通性和交换）
- 10.边缘部分就是连接在互联网上的所有主机。这些主机又称为**端系统**，“**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“**计算机之间的通信**”。
- 11.网络边缘端系统通信方式：客户-服务器方式（C/S）和对等方式（P2P）。
 - (1) **客户是服务请求方，服务器是服务提供方**。
 - 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。
 - 服务器程序：
 - 课同时出多个客户请求，不需要知道客户程序的地址，强大的硬件和高级操作系统。
 - (2) 对等连接方式：既是客户，又是服务器。
- 12.网络核心部分特殊作用：**路由器**。路由器：实现**分组交换**的关键构建，任务**转发收到的分组**，核心部分最重要的功能。
- 13.**电路交换**：建立连接—通话—释放连接。特点：通话时间内，通话的两个用户始终占用端到端的通信资源，线路传输效率低。
 - 分组交换**：存储转发技术。**主机**：为用户进行信息处理。**路由器**：转发分组，即进行分组交换。优点：高效、灵活、迅速、可靠。
- 14.按照网络的作用范围进行分类：广域网 WAN，城域网 MAN，局域网 LAN，个人区域网 PAN。
 - 按照使用者分类：公用网、专用网。
- 15.计算机网络性能：
 - (1) 速率：数据的传送速率，也是数据率，bit/s，当提到网络的速率时，往往指的是**额定速率或标称速率**。
 - (2) 带宽：某通道传输数据的能力，单位时间内网络中的某信道所能通过的“**最高数据率**”
 - (3) 吞吐量：单位时间内通过某个网络的实际数据量。

(4) 时延。数据从网络一端到另一端所需时间。

发送时延：主机或路由器发送数据帧所需时间。

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

传播时延：电磁波在信道中传播一定距离需要花费的时间。

$$\text{传播时延} = \frac{\text{信道长度(m)}}{\text{电磁波在信道上的传播速率(m/s)}}$$

处理时延：主机、路由器收到分组花费时间处理。

排队时延：输入队列中排队等待。

(5) 时延带宽积=传播时延 × 带宽

(6) 往返时间 RTT:

$$\text{有效数据率} = \frac{\text{数据长度}}{\text{发送时间} + \text{RTT}} = \frac{100 \times 2^{20} \times 8}{8.39 + 2} \approx 80.7 \times 10^6 \text{ bit/s} \approx 80.7 \text{ Mbit/s}$$

(7) 利用率：信道利用率+网络利用率。

信道利用率：某信道百分之几时间是被利用的。(不是越高越好，堵塞)

网络利用率：全网络信道利用率的加权平均值

D0 空闲时延，D 当前时延，利用率 U

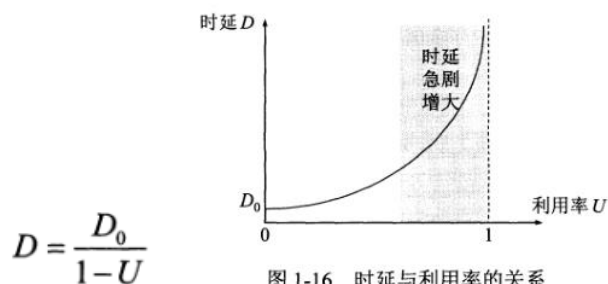


图 1-16 时延与利用率的关系

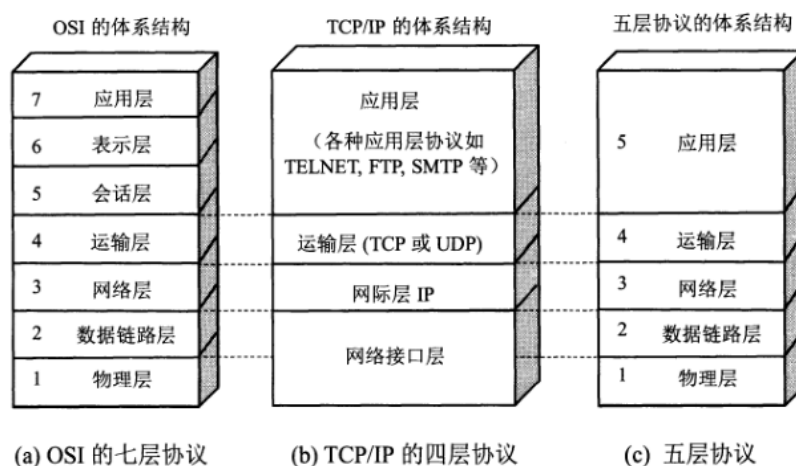
16. **网络协议**：为进行网络中数据交换而建立的规则、标准或约定。三要素：

语法：数据与控制讯息的结构或格式；

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。

17. **体系结构**：计算机网络各层及其协议的集合



18.实体：任何可以发送或接收信息的硬件或软件进程。

协议：控制两个对等实体（或多个实体）进行通信的规则集合。

两个对等实体间通信使得本层能够向上一层提供服务。

协议是水平的，服务是垂直的。

第二章 物理层

1.物理层的主要任务：确定与传输媒体的接口有关的一些特性。

(1) **机械特性** 指明接口所用接线器的形状和尺寸、引脚数目和排列、固定和锁定装置，等。平时常见的各种规格的接插件都有严格的标准化的规定。

(2) **电气特性** 指明在接口电缆的各条线上出现的**电压的范围**。

(3) **功能特性** 指明某条线上出现的**某一电平电压的意义**。

(4) **过程特性** 指明对于不同功能的**各种可能事件的出现顺序**。

2.通信系统分三部分：**源系统**（发送端、发送方）-**传输系统**（传输网络）-**目的系统**（接收端、接收方）

3.香农公式：信道的极限信息传输速率 C 是：

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

信道的带宽或信道中的信噪比越大，信息的极限传输速率就越高，指出了信息传输速率的上限。只要信息传输速率低于信道的极限信息传输速率，就一定存在某种办法来实现无差错的传输。

4.传输媒体：传输介质/传输媒介。导引型传输媒体：固体媒体。非导引型传输媒体：自由空间-无线传输。

5.导引型：**双绞线**：几十 MHz-几百 MHz。**同轴电缆**：1GHz。**光缆**：10 的 8 次方 MHz。

6.非导引型：传统微波通信主要两种方式：**地面微波接力通信+卫星通信**。

微波接力通信特点：波段频率高，频段范围宽，所以信道容量大；质量高；投资少，见效快。

卫星通信：**较大传播时延**。

7.非对称数字用户线 ADSL 技术：用数字技术对现有模拟电话用户线进行改造。

调制技术：**离散多音调 DMT**：40kHz-1.1MHz 划分许多子信道，25 上行，249 下行，使用不同载波（音调）进行数字调制。

8.光纤同轴混合网 HFC，FTTX 技术

第三章 数据链路层

信道主要有两种类型：点对点信道；广播信道。本章最重要的内容：

(1) 数据链路层的点对点信道和广播信道的特点，以及这两种信道所使用的协议（PPP 协议以及 CSMA/CD 协议）的特点。

(2) 数据链路层的三个基本问题：封装成帧、透明传输和差错检测。

(3) 以太网 MAC 层的硬件地址。

(4) 适配器、转发器、集线器、网桥、以太网交换机的作用以及使用场合。

1.链路：从一个结点到相邻结点的一段物理线路，把实现协议的硬件和软件加到链路上。最常用的方法是使用**网络适配器**。

2.点对点信道的数据链路层的协议数据单元-帧。

网络层协议数据单元就是 **IP 数据报**（简称**数据报**、**分组**或**包**）。

3.三个基本问题：

封装成帧：在一段数据前后分别添加首部和尾部，构成帧。首部尾部重要作用：**帧定界**。开始 SOH，结束 EOT。

透明传输：如果数据中某个字节的二进制代码恰好和 SOH 或 EOT 这种控制字符一样，数据链路层就会**错误地**找到帧的边界。

转义字符 ESC，字节填充/字符填充。

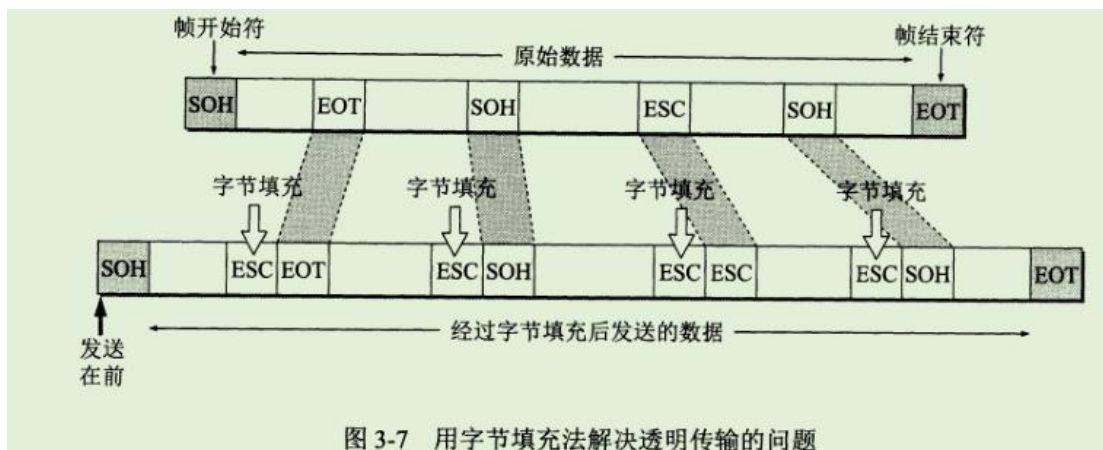


图 3-7 用字节填充法解决透明传输的问题

差错检测：1 变 0 或 0 变 1，比特差错。数据链路层广泛使用了**循环冗余检验 CRC**。步骤：

- (1) 发送数据划分组，每组 k 个 bit。假如数据是 $M=101001$ ($K=6$)；
- (2) 在 M 后加 n 位**冗余码**。总共发 $k+n$ 位。
- (3) 在 M 后加 n 个零，除以长度为 $n+1$ 的 P ，商 Q 余数 R ，把 R 拼接在 M 后。 R 叫做**帧检验序列 FCS**。
- (4) 接收端：接收的除以 P ，若余数 $R=0$ ，则无差错，若不是，就丢弃。

4.点对点协议 PPP：三个组成部分：

- (1) 将 IP 数据报封装到串行链路的方法。
- (2) 用来建立、配置和测试数据链路连接的**链路控制协议 LCP**。
- (3) 一套**网络控制协议 NCP**。

5.PPP 协议的帧格式：连续两帧之间只需要一个标志字段。

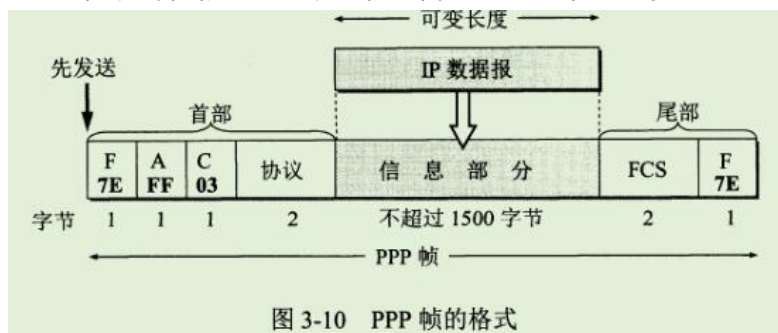


图 3-10 PPP 帧的格式

当 PPP 使用异步传输，转义字符定义为 $0x7D$ ，使用**字节填充**。

$0x7E$ 变成 $(0x7D, 0x5E)$ 。 $0x7D$ 变成 $(0x7D, 0x5D)$ 。若信息字段出现数值小于 $0x20$ 的字符，则在字符前加 $0x7D$ ，同时字符编码改变。如 $0x03$ 变 $(0x7D, 0x23)$

零比特填充：连续 5 个 1 后填 0。

6.局域网主要特点：**网络为一个单位所拥有，且地理范围和站点数目均有限。**

7.计算机与外界局域网的连接是通过**通信适配器（网卡）**进行的。适配器：进行数据串行传输和并行传输的转换，数据链路层+物理层的功能。

8.为了通信简单，以太网采取了两种措施：

(1) **无连接**工作方式，数据帧不进行编号，也不要求对方发回确认，尽最大努力交付（不可靠交付），同一时间只允许一台计算机发数据。使用的协议：CSMA/CD，**载波监听多点接入/碰撞检测**。

(2) 曼彻斯特编码。

9.CSMA/CD 协议的要点：协议实质是“载波监听”和“碰撞检测”。

多点接入：总线型网络。

载波监听：检测信道。**不管发送前，还是发送中，每个站不停地检测信道。**

碰撞检测：边发送，边监听。也称为**冲突检测**。

电磁波在 1km 电缆的传播时延约 5us。信道是半双工信道。

总线上单程端到端的传播时延记为 τ ，最迟经过 2τ 才知道自己发送的和别人碰撞了。

2τ 称为**争用期**，又称**碰撞窗口**，经过争用期末检测到碰撞，才肯定这次发送不会碰撞。

10.以太网特点，**发送的不确定性**：每个站在自己发送数据后的一小段时间内，存在着碰撞的可能性，这一小段时间**不确定**，因此以太网**不能保证**某一时间之内一定把数据发出去。

11.碰撞重传的时机：**截断二进制指数退避算法**。

(1) 基本退避时间为争用期，具体时间是 **51.2us**。对于 10Mbit/s 以太网，争用期内可发送 512bit，即 64 字节。

(2) 从离散整数集合 $[0,1,\dots,(2^k-1)]$ 中随机取出一个数，记为 r 。重传应推后的时间就是 r 倍的争用期。 $K=\text{Min}[\text{重传次数}, 10]$

(3) 当重传达 16 次仍不能成功时，则丢弃该帧，向高层报告。

12.最短帧长 64 字节，512bit。**凡长度小于 64 字节的帧都是由于冲突异常中止的无效帧。**

帧间最小间隔为 9.6us，相当于 96bit：为使刚刚收到的数据帧的站的接收缓存来得及清理。

13.**集线器**工作在**物理层**，每个接口仅仅简单地转发比特，**不进行碰撞检测**。

14.单程端到端时延与帧的发送时间之比：

$$a = \frac{\tau}{T_0}$$

a 应该尽量小。

a 趋于 0，表示一碰撞就检测出来（争用期小），立即停止，信道浪费资源少。

极限信道利用率为（当 a 远小于 1 才能得到）：

$$S_{\max} = \frac{T_0}{T_0 + \tau} = \frac{1}{1 + a}$$

15.6 字节的 MAC 地址：前三个字节：**组织唯一标识符/公司标识符**。后三个字节：厂家自行指派，**扩展标识符**。

16.MAC 帧的格式：两种，以太网 V2 和 IEEE802.3

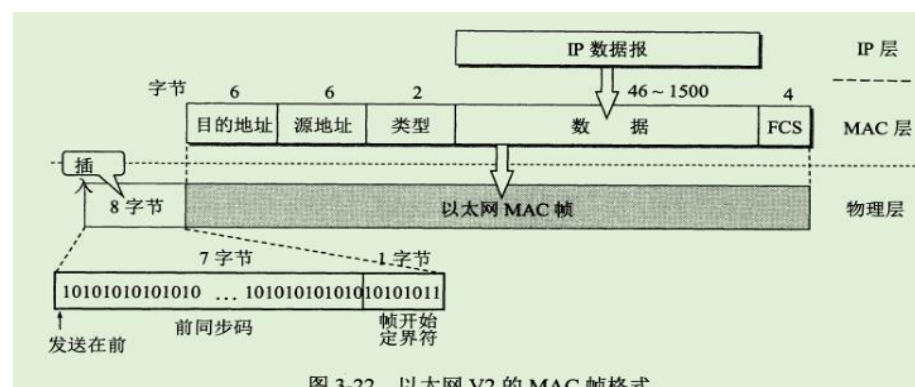


图 3-22 以太网 V2 的 MAC 帧格式

为使接收端迅速实现位同步，要在帧前插入 8 字节，7 个字节**前同步码**（1 和 0 交替）：使接收端迅速调整时钟频率，使他和发送端的时钟同步。1 字节的**帧开始定界符**，10101011 由于各帧之间有间隙，所以**不需要帧结束定界符**。

17.扩展的以太网在网络层看来仍是一个网络。

（1）使用**集线器**扩展以太网（**物理层**），**优点**：不同系的以太网计算机可以通信，扩大了以太网覆盖的地理范围。**缺点**：以太网是独立碰撞域，使原来的三个碰撞域变成一个，更易碰撞。不同的以太网如果技术不同（如数据率不一样）则不能连接。

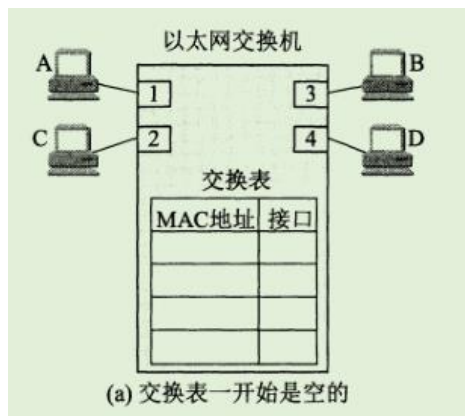
集线器只能转发，不能帧缓存。

（2）使用**以太网交换机**扩展以太网（**数据链路层**）

以太网交换机（全双工）：**多接口的网桥**。即插即用，**帧交换表（地址表）**通过**自学习算法**自动地建立起来的。

优点：一个用户通信时是独享而非和其他网络用户共享传输媒体的带宽。一般具有多种速率接口，方便不同用户。

自学习功能：



（1）A 先向 B 发一帧，

18.CSMA/CD 协议都不使用了，仍然叫以太网，因为：帧结构未改变，仍然采用以太网的**帧结构**。

19.吉比特以太网：允许在 1Gbit/s 下，全双工和半双工；使用 IEEE802.3 规定的帧格式，半双工下使用 CSMA/CD 协议，全双工不使用 CSMA/CD 协议。**争用期 512 字节**。

第四章 网络层

本章最重要的内容是：

- (1) 虚拟互连网络的概念。
- (2) IP 地址与物理地址的关系。
- (3) 传统的分类的 IP 地址（包括子网掩码）和无分类域间路由选择 CIDR。
- (4) 路由选择协议的工作原理。

1.互联网设计思路：**网络层只向上提供简单灵活的、无连接的、尽最大努力交付的数据报服务**。无需建立连接，不提供质量承诺。

2.网际 IP 协议、地址解析协议 ARP、网际控制报文协议 ICMP、网际组管理协议 IGMP。

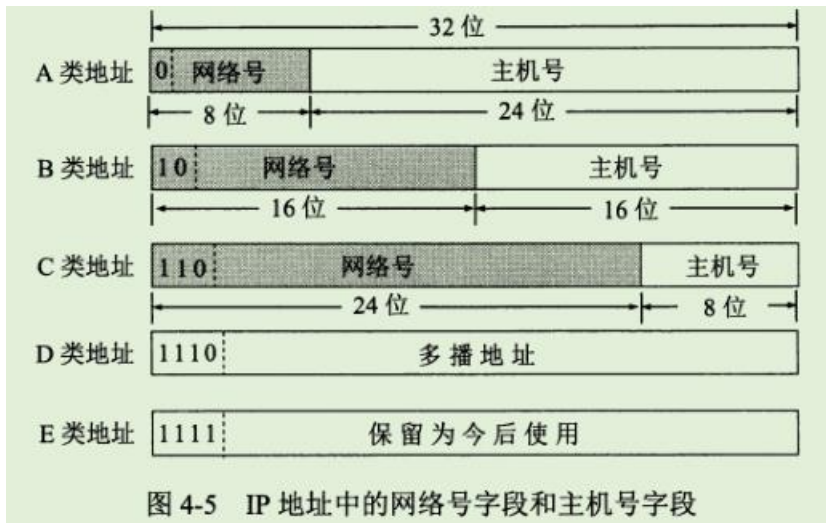
3.将网络互相连接起来要使用一些**中间设备**。

（1）物理层使用的中间设备-**转发器**。（2）数据链路层-**网桥或桥接器**。

（3）网络层-**路由器**。（4）网络层以上使用-**网关**

4.IP 地址的编址方法共经过了三个历史阶段。

(1) 分类的 IP 地址。网络号+主机号



A 类的**网络号字段**：全 0：保留地址，意思是**本网络**；01111111 保留作为本地软件**环回测试**本主机进程之间的通信所用。**主机号字段**：全 0：连接的是单个网络地址，全 1：表示所有的。

B 类的 128.0.0.0 是不指派的，主机号不能全 0 或全 1。

C 类网络地址 192.0.0.0 不指派，主机号全 0 全 1 应该也不行。

表 4-2 IP 地址的指派范围

网络类别	最大可指派的网络数	第一个可指派的网络号	最后一个可指派的网络号	每个网络中的最大主机数
A	126 ($2^7 - 2$)	1	126	16777214
B	16383 ($2^{14} - 1$)	128.1	191.255	65534
C	2097151 ($2^{21} - 1$)	192.0.1	223.255.255	254

表 4-3 一般不使用的特殊 IP 地址

网络号	主机号	源地址使用	目的地址使用	代表的意思
0	0	可以	不可	在本网络上的本主机（见 6.6 节 DHCP 协议）
0	host-id	可以	不可	在本网络上的某台主机 host-id
全 1	全 1	不可	可以	只在本网络上进行广播（各路由器均不转发）
net-id	全 1	不可	可以	对 net-id 上的所有主机进行广播
127	非全 0 或全 1 的任何数	可以	可以	用于本地软件环回测试

IP 地址的重要特点：

分等级的地址结构：只分配**网络号**，方便管理；路由器仅根据目的主机所连接的**网络号**来转发分组，**减小路由表**。一个路由器至少两个 IP 地址。一个网络是指具有相同网络号 net-id 的主机的集合，因此用**转发器或网桥**连接起来的若干个局域网仍为一个网络。所有分配到网络号的网络都是平等的。

IP 地址与硬件地址的区别：

层次角度：**物理地址**是数据链路层和物理层使用的地址；**IP 地址**是网络层和以上各层使用的地址，是一种**逻辑地址**。

IP 层抽象的互联网上只能看到 IP 数据报。路由器只根据目的站的 IP 地址的网络号进行

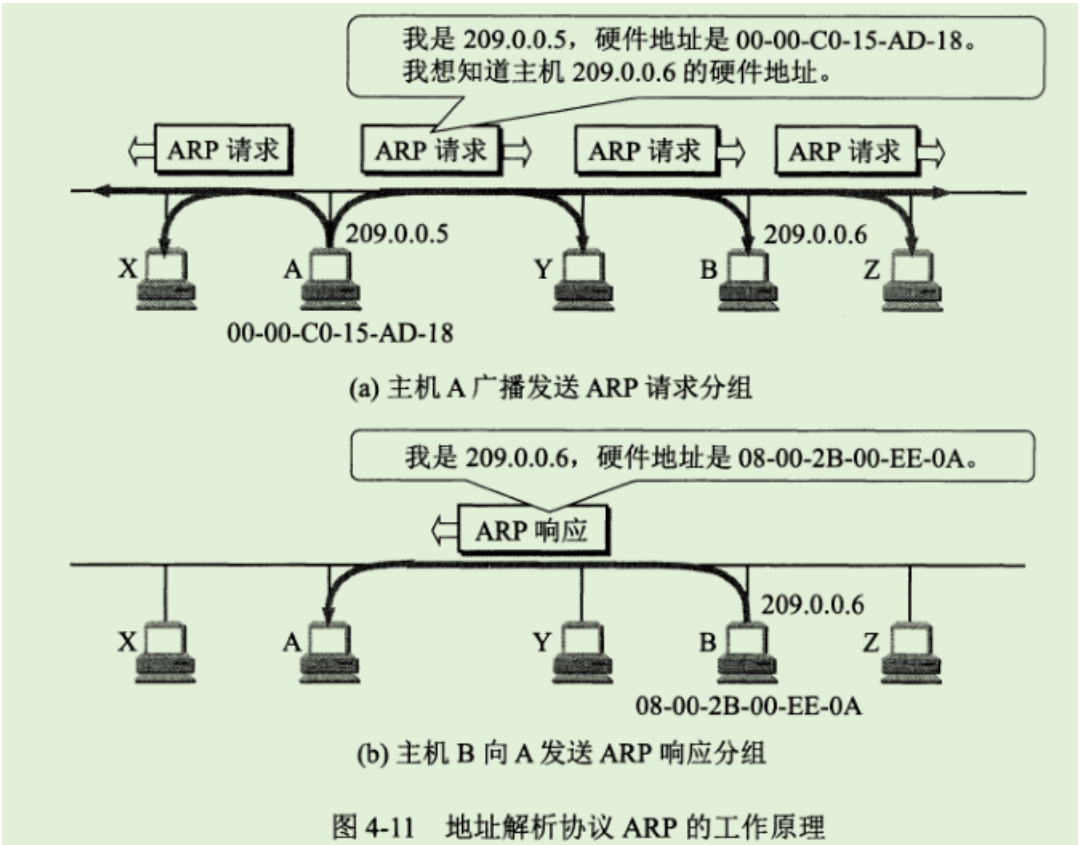
路由选择。在局域网的链路层只能看见 MAC 帧。

(2) 子网的划分。

(3) 构成超网。

5.ARP 解析协议：为了从网络层使用的 IP 地址，解析出在数据链路层使用的硬件地址，归在两层都可。解决同一个局域网上的主机或路由器的 IP 地址和硬件地址的映射问题。

每台主机都有 ARP 高速缓存，里面有本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，是该主机目前知道的一些地址。



ARP 对保存在高速缓存中的每一个映射地址项目都设置生存时间，超过就删除。

6.IP 数据报的格式：



版本：IP 协议版本。

首部长度：单位是 32 位，即 4 字节。

总长度：首部和数据之和的长度，单位为字节。最常用的以太网规定最大传送单元 MTU 值是 1500 字节。

标识：计数器，产生数据报，计数器+1。**相同的标识字段的值**使分片后的各数据报片最后能正确地重装成为原来的数据报。

标志：最低位 **MF**。MF=1 后面还有分片，MF=0 是最后一个。

中间位 **DF**。DF=0，允许分片。

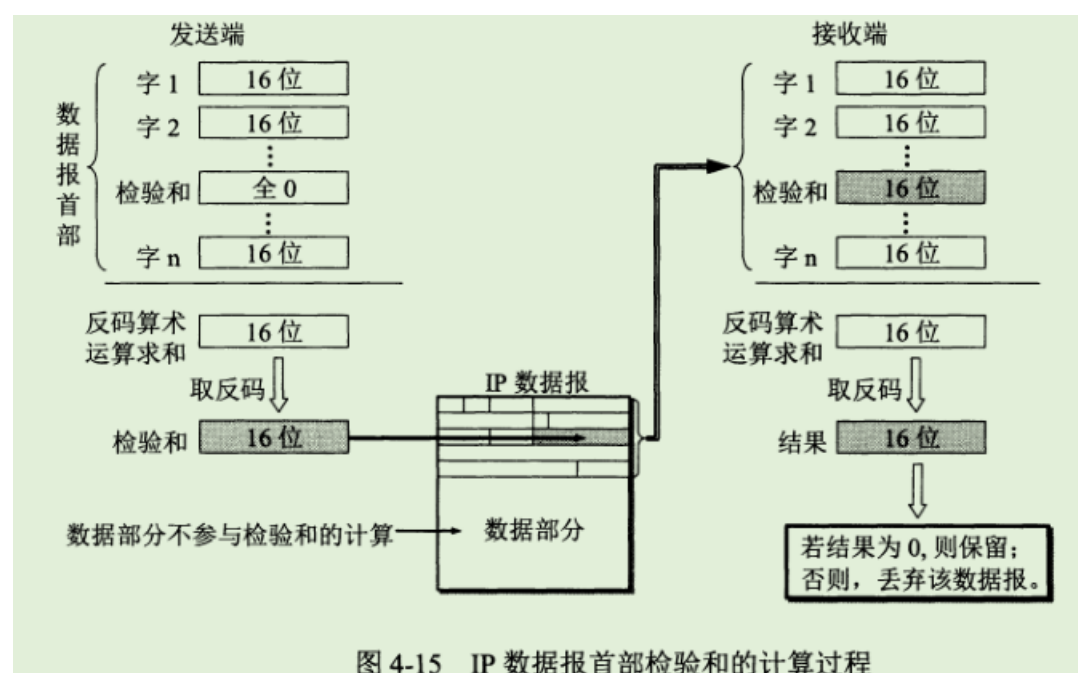
片偏移：某片在原分组中的相对位置。单位：**8 个字节**。每个分片一定是 8 字节的整数倍。

生存时间：TTL，数据报在网络中的**寿命**。后来改为**跳数限制**。每次转发数据报前，-1。

协议：

协议名	ICMP	IGMP	IP [®]	TCP	EGP	IGP	UDP	IPv6	ESP	OSPF
协议字段值	1	2	4	6	8	9	17	41	50	89

首部检验和：只检验**数据报首部**，不包括数据部分。反码算术运算求和：从低位到高位，0+0=0；0+1=1；1+1=0；最高位相加进位，最后结果要+1。



特定主机路由，默认路由。

7. 分组转发算法：

- (1) 数据报首部提取目的主机 IP 地址 D，**得出目的网络地址 N**。
- (2) 若 N 与此路由器**直接相连**某网络，直接交付。否则 (3)
- (3) 若有目的地址的**特定路由**，就转给路由表中指明的，否则 (4)；
- (4) 路由表中有**到达网络 N 的路由**，传给。否则 (5)。
- (5) **默认路由**，则传给默认路由器。否则，转发分组出错。

8. 划分子网（增加灵活性，减少能连接在网络上的主机总数）基本思路：

(1) 一个单位，可将所属物理网络划分为若干个子网。本单位外看不见，**对外仍表现为一个网络**。

(2) 三级 IP 地址：网络号+子网号+主机号。

(3) 路由器收到 IP 数据报后，按目的网络号和子网号找到目的子网，把 IP 数据报交付目的主机。

9. 子网掩码好处：不管有无划分子网，只要把子网掩码和 IP 地址进行逐位与，就立即得出网络地址。是一个**网络或子网的重要属性**。

A 类地址的默认子网掩码是 255.0.0.0，或 0xFF000000。
 B 类地址的默认子网掩码是 255.255.0.0，或 0xFFFF0000。
 C 类地址的默认子网掩码是 255.255.255.0，或 0xFFFFFFFF00。

10.划分子网，路由器转发分组算法：

- (1) 收到数据报，首部提取目的 IP 地址 D。
- (2) 判断是否直接交付。路由器直接相连的网络逐个检查，各网络子网掩码相与，看结果是否匹配。否则 (3)
- (3) 特定主机路由
- (4) 对路由表每行，用其中子网掩码和 D 相与，结果 N，看是否匹配。
- (5) 默认主机路由。(6) 出错。

11.无分类编址 CIDR (构成超网)。

(1) 消除了传统的 A\B\C 类地址及划分子网的概念。网络前缀+主机号。斜线记法，CIDR 记法。

(2) CIDR 把网络前缀都相同的连续 IP 地址组成一个 CIDR 地址块。

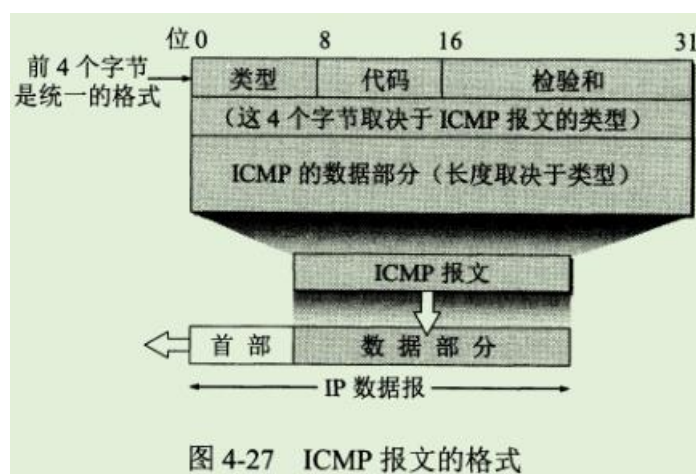
12.最长前缀匹配：路由表中的项目也发生相应改变：网络前缀+下一跳地址。查找路由表可能不止一个匹配结果，应当从匹配结果中选择具有最长网络前缀的路由。

传统路由表查找算法缺点是查找次数太多。

于是，把无分类编址的路由表存放在一种层次的数据结构中，自上而下，层次查找。二叉线索查找路由表。唯一前缀：与其他 IP 地址不同的前几位。

查找：先看 IP 地址第一位，0 则左下，1 则右下。

13.网际控制报文协议 ICMP。

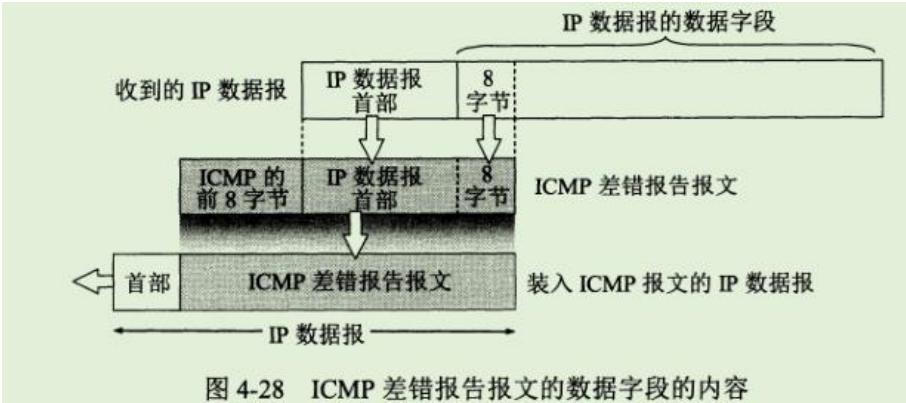


14.ICMP 报文的种类：ICMP 差错报告报文和 ICMP 询问报文。

表 4-8 几种常用的 ICMP 报文类型

ICMP 报文种类	类型的值	ICMP 报文的类型
差错报告报文	3	终点不可达
	11	时间超过
	12	参数问题
	5	改变路由(Redirect)
询问报文	8 或 0	回送(Echo)请求或回答
	13 或 14	时间戳(Timestamp)请求或回答

主机刚开始工作时，一般都在路由表中设置一个默认路由器的 IP 地址。



15.ICMP 询问报文有两种：回送请求和回答、时间戳请求和回答。

ICMP 的重要应用是分组网间探测 PING。

16.互联网采样的路由选择协议主要是自适应的、分布式路由选择协议。

自制系统 AS：单一技术管理下的一组路由器，这些路由器使用一种自治系统内部的路由选择协议和共同的度量。

两大类：**内部网关协议 IGP** 和 **外部网关协议 EGP**。

自治系统内部使用的；源主机和目的主机处在不同的自治系统中。

17.内部网关协议 RIP：路由信息协议，分布式的基于距离向量的路由选择协议，简单，只适用于小型互联网。

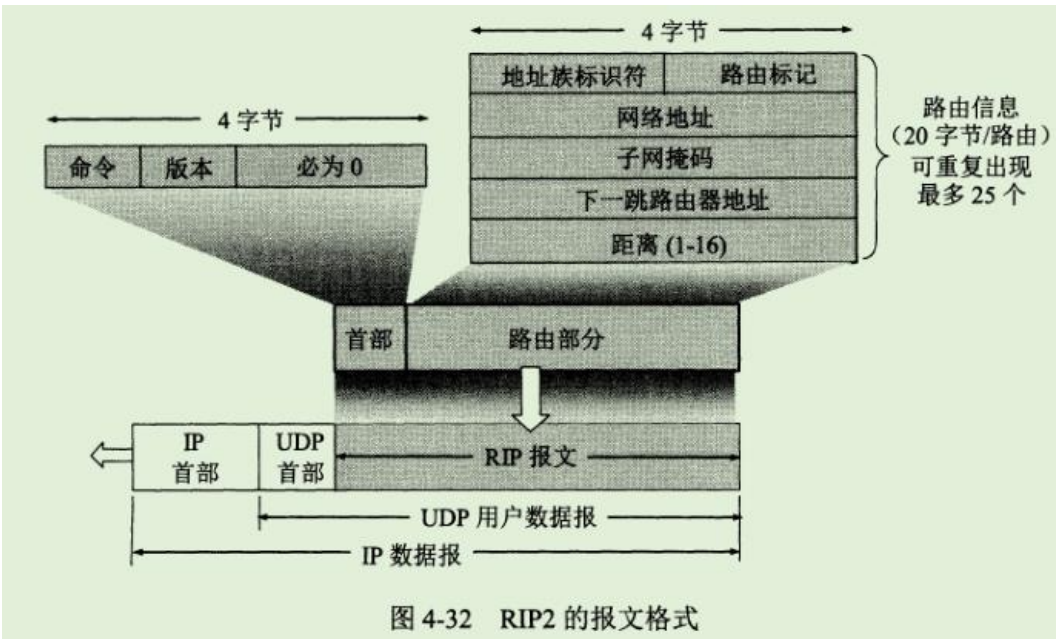
RIP 的距离也成为跳数。RIP 协议的特点：仅和相邻路由器交换信息；交换的是当前本路由器所知道的全部信息，即自己现在的路由表；固定的时间间隔交换信息。

距离向量算法：

(1) 对地址 X 的相邻路由器发来的 RIP 报文，先修改所有项目（目的网络 N，距离 d，下一跳路由器 X）：下一跳地址改 X，距离字段+1。

(2) 若原路由表无目的网络 N，加上；有，看下一跳路由器地址，若为 X，替换原路由表中项目；若下一跳地址不是 X，看收到项目中距离 d 和表中相比，若小于，更新，否则什么也不做。

(3) 3 分钟还未收到相邻路由器的更新路由表，不可达，距离设为 16。(4) 返回。



地址族标识符：标志所使用的地址协议；**路由标记**：自治系统号。

一个 RIP 报文**最多可包括 25 个路由**，因而 RIP 报文的**最大长度是 4+20x25=504 字节**。

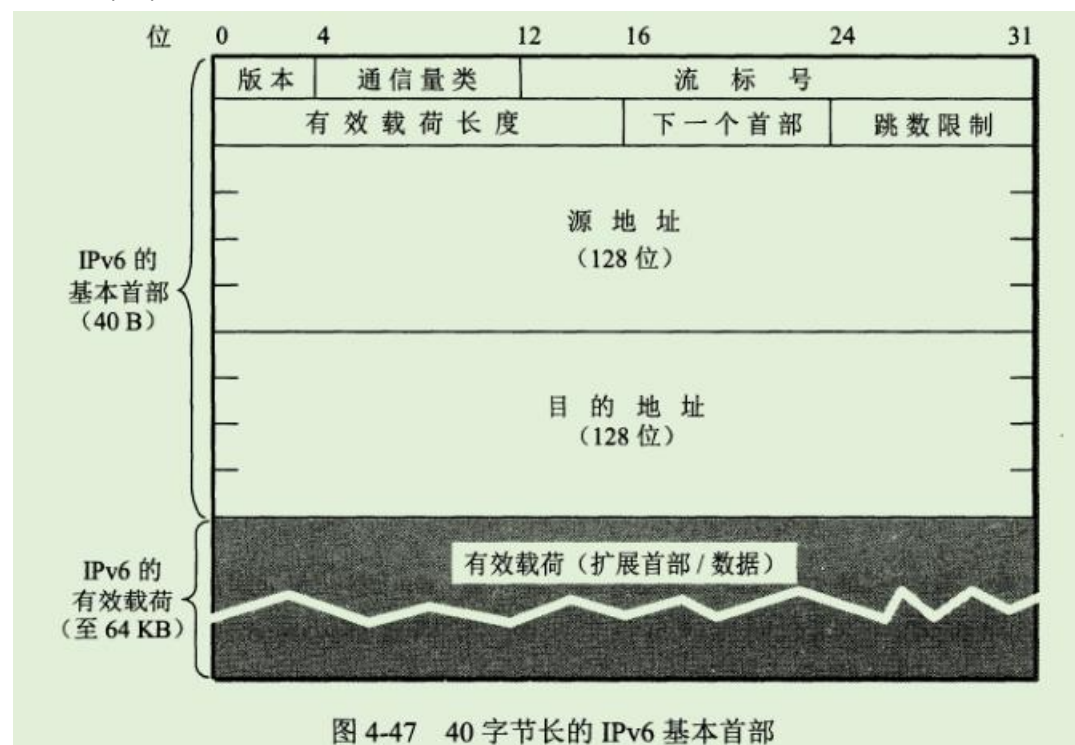
问题：网络出现故障，要经过比较长的时间才能将信息传送到所有的路由器。**好消息传播得快，坏消息慢。**

18.内部网关协议：OSPF

19.外部网关协议：BGP

20.路由器的构成：路由器结构可划分两大部分：**路由选择部分（控制部分）**和**分组转发部分（交换结构、一组输入端口和一组输出端口）**。

21.IPv6 首部：



版本：协议的版本，6；

通信量类：区分不同的 IPv6 数据报的类别或优先级。

流标号：IPv6 新机制，支持资源预分配，允许路由器把每个数据报与一给定的资源分配相联系。**流**：互联网上从特定源点到特定终点的一系列数据报，而在这个“流”所经过的路径上的**路由器都保证制命的服务质量**。所有属于同一流的数据报有相同的流标号。对实时音频/视频数据的传送有用。

有效载荷长度：数据报除基本首部之外的字节数。

下一个首部：**没有扩展首部**，相当于 IPv4 的协议字段，指明首部后面数据应交付 IP 层上哪个高层协议。**出现扩展首部**，标识后面第一个扩展首部的类型。

跳数限制：设定跳数限制，路由器转发-1。

22.单播、多播，**任播**：**新增的类型**：终点是一组计算机，单数据报只交付其中一个，通常距离最近。

23.主机和路由器均称**结点**。

24.IPv6 使用**冒号十六进制记法**：

68E6:8C64:FFFF:FFFF:0:1180:960A:FFFF

第五章 运输层

运输层是整个网络体系结构中的关键层次之一。一定要弄清以下一些重要概念：

- (1) 运输层为相互通信的应用进程提供逻辑通信。
- (2) 端口和套接字的意义。
- (3) 无连接的 UDP 的特点。
- (4) 面向连接的 TCP 的特点。
- (5) 在不可靠的网络上实现可靠传输的工作原理，停止等待协议和 ARQ 协议。
- (6) TCP 的滑动窗口、流量控制、拥塞控制和连接管理。

1. 运输层向它上面的应用层提供通信服务，属于面向通信部分的最高层，用户功能中的最低层，主机端到端通信，只有主机协议栈才有运输层，网络核心部分路由器转发分组只用到下三层。

2. 通信的真正端点并不是主机而是主机中的进程，端到端的通信是应用进程之间的通信。

3. 运输层很重要的功能：**复用和分用**。复用：发送方不同应用进程可使用同一运输层协议传送数据，分用：接收方运输层剥去报文首部，可将数据正确交付目的进程。

4. 网络层为主机之间提供逻辑通信，运输层为应用进程之间提供端到端的逻辑通信。

5. 两种不同的运输协议：**面向连接的 TCP 和无连接的 UDP**。

运输层向高层用户屏蔽了下面网络核心的细节，采用**面向连接 TCP**，尽管下面网络不可靠，相当于**全双工可靠信道**。**无连接 UDP**，不可靠信道。

用户数据报协议 UDP；传输控制协议 TCP。

6. 进程**创建撤销是动态的**，通信一方无法识别，另外可以利用目的主机提供的功能来识别终点，不需要知道具体实现的进程：在运输层使用**协议端口号（端口）**。这个是**软件端口**，与硬件端口不同。

7. 硬件端口：**不同硬件设备进行交互的接口**；

软件端口：应用层各种**协议进程与运输实体进行层间交互的地址**。

8. 端口号：16 位，只具有**本地意义**，不同计算机相同端口号**无关联**。分类：

(1) **服务器端使用的**：又分两类

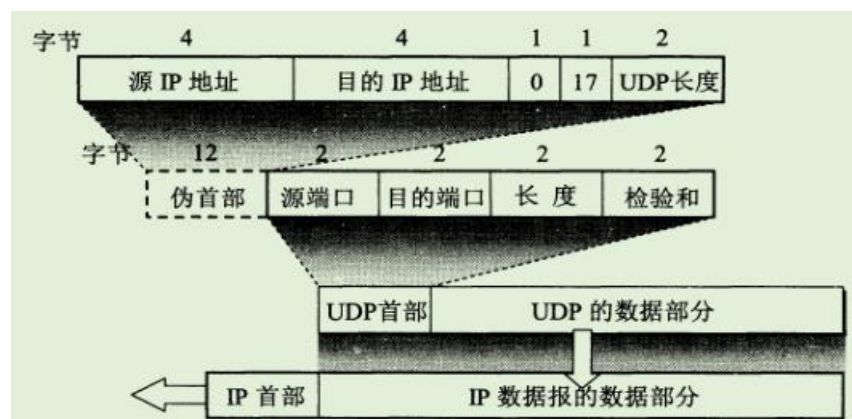
熟知端口号或**系统端口号**，0-1023，分给最重要的应用程序；

登记端口号：1024-49151，给其他应用程序，必须登记，防止重复。

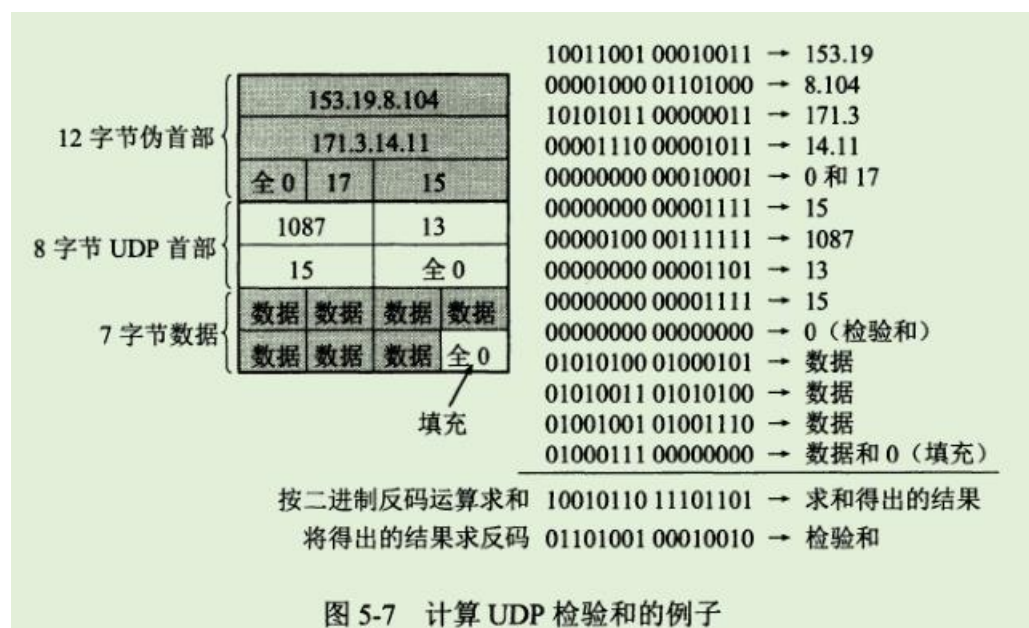
(2) **客户端使用的**：49152-65535。**短暂端口号**，仅在客户进程运行时才选择。

9. 用户数据报 UDP：**无连接的**，尽**最大努力交付**，**面向报文**：对应用层交下来的报文，保留报文的边界，即交给多长的 UDP 报文，就照样发送。**没有拥塞控制**，就是网络拥塞不会降低源主机发送速率。支持**一对一，一对多，多对一和多对多**。**首部开销小**，8 字节。

10. UDP 首部格式



12 个字节伪首部：在计算检验和时，临时添加的。
 若 UDP 用户数据报数据部分不是偶数字节，则要填入全 0 字节。



11. 传输控制协议 TCP：面向连接、只能一对一，可靠交付、全双工通信，面向字节流：TCP 把应用程序交下来的数据仅仅看成一连串的无结构字节流。

TCP 不关心应用进程一次把多长报文发送到 TCP 缓存中，而是根据对方给的窗口值和当前网络拥塞的程度来决定一个报文段应包含多少字节。

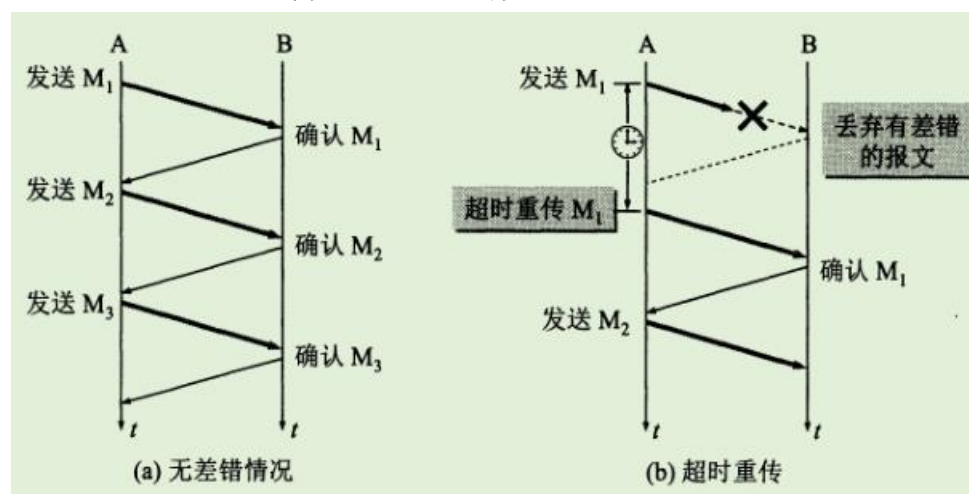
12. TCP 连接的端点叫做套接字或插口。套接字=IP 地址：端口号

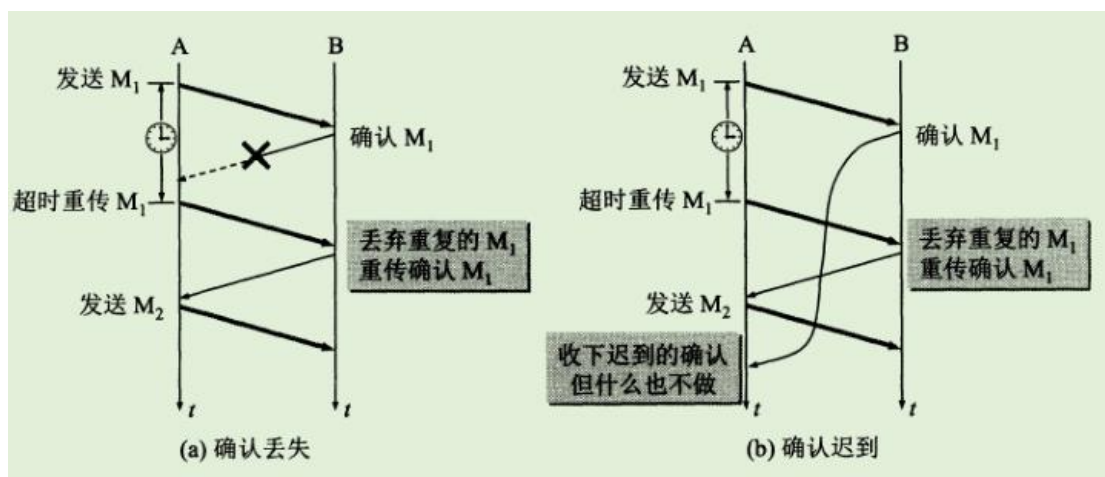
TCP 连接 ::= {socket₁, socket₂} = {(IP₁: port₁), (IP₂: port₂)}

13. 停止等待协议：简单，但信道利用率太低。
 信道利用率

$$U = \frac{T_D}{T_D + RTT + T_A}$$

T_D：A 发送分组所需时间；T_A：B 发送确认分组





提高利用率，**流水线传输**：发送方可连续发送多个分组，不必等待确认。

14.连续 ARQ 协议：

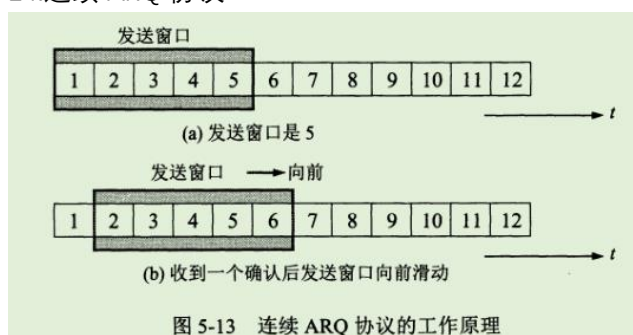


图 5-13 连续 ARQ 协议的工作原理

接收方对**按序到达的最后一个分组**发送确认。优点：易实现；缺点：不能向发送方反映出接收方已经正确收到所有分组的信息。

15.TCP 报文段的首部格式：前 20 字节固定，4n 字节是根据需要增加。

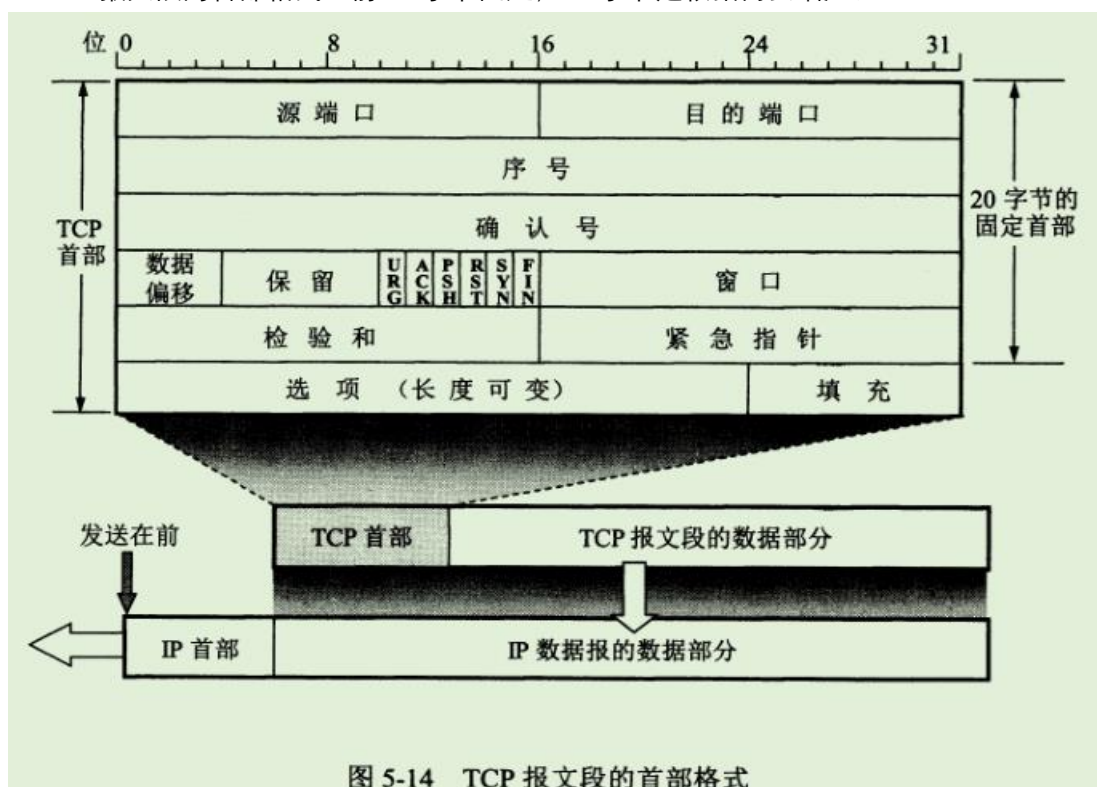


图 5-14 TCP 报文段的首部格式

序号：TCP 连接中传送的字节流中的**每一个字节都按顺序编号**。

确认号：期望收到对方下一个报文段的第一个数据字节的序号。若确认号=N 表明：到序号 N-1 为止的所有数据都已正确收到。

数据偏移：TCP 报文段的数据起始处距离 TCP 报文段的起始处多远，实际指出 **TCP 报文段的首部长度**。单位是 4 字节。TCP 首部最大长度 60 字节

紧急 URG：=1，有紧急数据，优先传送。

确认 ACK：=1，确认号字段才有效。，连接建立后必须 ACK=1。

推送 PSH：=1，接收方收到，尽快交付接收应用进程，不用等缓存满了再传。

复位 RST：=1，表明 TCP 连接中出现严重差错，释放连接，重新建立运输连接。

终止 FIN：=1，表明数据发送完毕，释放连接。

窗口：作为接收方让发送方设置其发送窗口的依据。**指明了现在允许对方发送的数据量。**

检验和：要加伪首部

紧急指针：在 URG=1 有意义，指出紧急数据的末尾在报文段中的位置。

选项：长度可变。

16.最大报文段长度 MSS，是每一个 TCP 报文段中的**数据字段的最大长度**。

规定原因：TCP 首部+IP 首部=至少 40 字节，若 MSS 较小，**网络利用率低**，若太大，报文段就太长，多个分片，**开销增大**。应尽可能大，只要在 IP 层传输时**不需要再分片就行**。

17.**发送缓存暂时存放：**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：按序到达但尚未被接收应用程序读取的数据，不按序到达的数据。

18.A 的发送窗口并不总是和 B 的接收窗口一样大，时间滞后。不按序到达的数据通常是先临时存放在接收窗口，等缺少的字节收到，按序交付上层。

19.超时重传：