

《计算机网络》知识点总结

第一章 概述

1. 互连网的核心与边缘部分（互连网的组成）

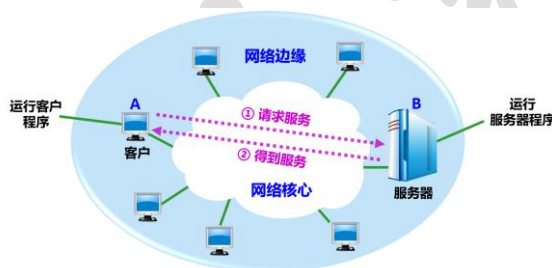


(1) 边缘部分：由所有连接在互联网上的主机组成。这部分是用户直接使用的，用来进行通信和资源共享。主机又称为端系统。

(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）。

2. 端系统之间的两种通信方式

(1) 客户-服务器方式

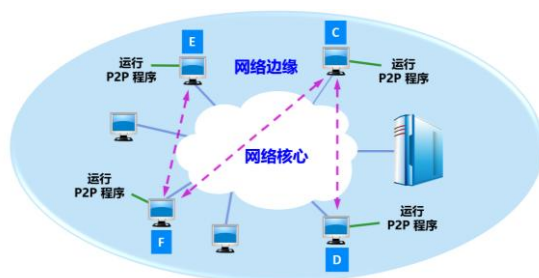


①客户 (client) 和服务器 (server) 都是指通信中所涉及的两个应用进程。

②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。

③客户是服务的请求方，服务器是服务的提供方。

(2) 对等连接方式



①对等连接 (peer-to-peer, 简称为 P2P) 是指两个主机在通信时并不区分哪一个是服务请求方还是服务提供方。

②只要两个主机都运行了对等连接软件 (P2P 软件)，它们就可以进行平等的、对等连接通信。

③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是服务器。

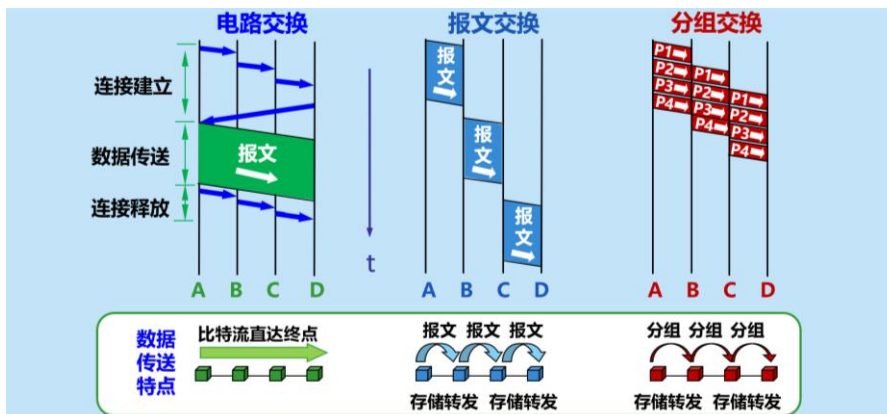
3. 互联网的核心部分

(1) 在网络核心部分起特殊作用的是路由器。

(2) 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，这是网络核心部分最重要的功能。

(3) 路由器的任务：①转发分组 ②路由器之间不断交换路由信息

4. 典型交换技术



电路交换	整个报文的比特流连续地从源点直达终点，好像在一个管道中传送。
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。
分组交换	当个分组（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。

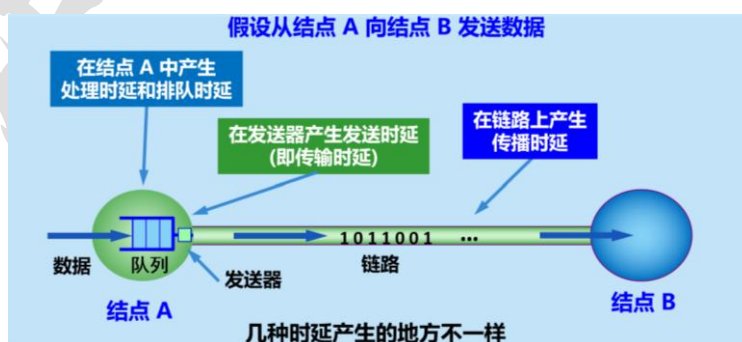
(1) 若要连续传送大量的数据，且其传送时间远大于连接建立时间，则电路交换的传输速率较快。

(2) 报文交换和分组交换不需要预先分配传输带宽，在传送突发数据时可提高整个网络的信道利用率。

(3) 由于一个分组的长度往往远小于整个报文的长度，因此分组交换比报文交换的时延小，同时也具有更好的灵活性。

5. 时延（计算机网络的性能指标之一）

(1) 网络中的时延由以下几个不同的部分组成：发送时延、传播时延、处理时延、排队时延，下图为四种时延的产生地点说明。



(2) 发送时延（传输时延）

①概念：主机或路由器发送数据帧所需要的时间。

②计算公式：发送时延 = $\frac{\text{数据帧长度}(\text{bit})}{\text{发送速率}(\text{bit/s})}$

(3) 传播时延

①概念：电磁波在信道中需要传播一定的距离而花费的时间。

②计算公式： $\text{传播时延} = \frac{\text{信道长度}(m)}{\text{电磁波在信道上的传播速率}(m/s)}$

【例 1-1】收发两端之间的传输距离为 $1000km$ ，信号在媒体上的传播速率为 $2 \times 10^8 m/s$ 。试计算一下两种情况的发送时延和传播时延：

(1) 数据长度为 $10^7 bit$ ，数据发送速率为 $100kbit/s$ 。

(2) 数据长度为 $10^3 bit$ ，数据发送速率为 $1Gbit/s$ 。

解：(1) 发送时延 $= \frac{10^7 bit}{100kbit/s} = 100s$

传播时延 $= \frac{1000km}{2 \times 10^8 m/s} = 5ms$

此时，发送时延远大于传播时延。

(2) 发送时延 $= \frac{10^3 bit}{1Gbit/s} = 1\mu s$

传播时延 $= \frac{1000km}{2 \times 10^8 m/s} = 5ms$

此时，传播时延远大于发送时延。

综上，我们可以得到一个结论：若数据长度长而发送速率低，则在总的时延中，发送时延往往大于传播时延；若数据长度短而发送速率高，则在总的时延中，传播时延往往大于发送时延。

【例 1-2】假设信号在媒体上的传播速率为 $2.3 \times 10^8 m/s$ 。媒体长度 l 分别为：

(1) $10cm$ （网络接口卡） (2) $100m$ （局域网） (3) $100km$ （城域网） (4) $5000km$ （广域网）

试计算当数据率为 $1Mbit/s$ 和 $10Gbit/s$ 时在以上媒体中正在传播的比特数。

解：(1) 传播时延 $= \frac{0.1m}{2.3 \times 10^8 m/s} = 4.35 \times 10^{-10}s$

当数据率为 $1Mbit/s$ 时，有比特数 $= 1Mbit/s \times 4.35 \times 10^{-10}s = 4.35 \times 10^{-4} bit$ ；

当数据率为 $10Gbit/s$ 时，有比特数 $= 10Gbit/s \times 4.35 \times 10^{-10}s = 4.35 bit$ 。

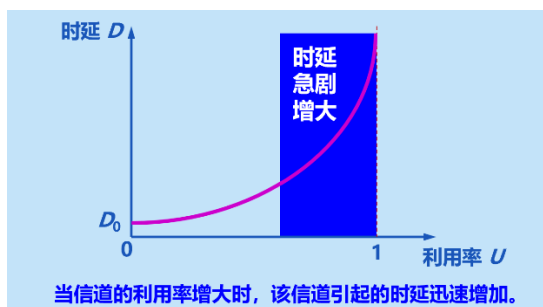
其他 3 种情况同理可得，这里省略。

6. 利用率（计算机网络的性能指标之一）

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：

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



【例 1-3】假定网络的利用率达到了 90%。试估算现在的网络时延是它的最小值的多少倍？

解：根据 $D = \frac{D_0}{1-U}$ 可得 $\frac{D}{D_0} = \frac{1}{1-U} = \frac{1}{1-90\%} = 10$

即说明现在的网络时延是它的最小值的 10 倍。

7. 协议的基本概念

(1) 定义：网络协议，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。

(2) 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

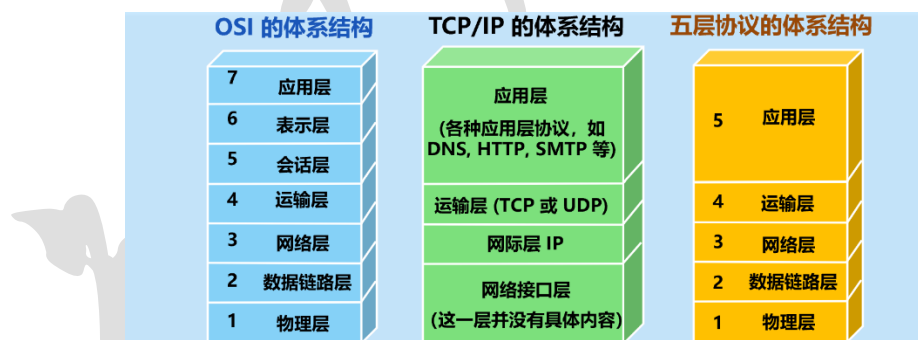
8. 分层所带来的好处

各层之间是独立的
灵活性好
结构上可分割开
易于实现和维护
能促进标准化工作

9. 具有五层协议的体系结构及每层的作用

应用层	通过应用进程间的交互来完成特定网络应用。
运输层	向两台主机中进程之间的通信提供通用的数据传输服务。
网络层	为分组交换网上的不同主机提供通信服务。
数据链路层	解决三个基本问题：封装成帧、透明传输、差错检验。
物理层	确定与传输媒体的接口有关的一些特性，尽可能地屏蔽掉这些传输媒体和通信手段的差异。

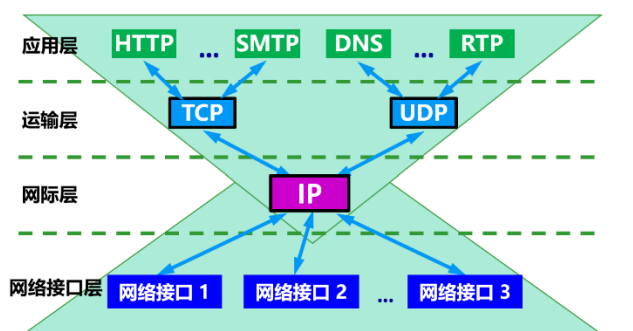
10. 计算机网络体系结构



11. ISP 的基本概念

互联网服务提供者 ISP (Internet Service Provider)。在许多情况下，ISP 就是一个进行商业活动的公司，因此 ISP 又称互联网服务提供商。例如，中国电信、中国联通和中国移动等公司都是我国最著名的 ISP。

12. 协议与层次



第二章 物理层

1. 单工与双工的基本概念

- (1) 单向通信（单工通信）——只能有一个方向的通信而没有反方向的交互。
- (2) 双向交替通信（半双工通信）——通信的双方都可以发送信息，但不能双方同时发送（当然也就不能同时接收）。
- (3) 双向同时通信（全双工通信）——通信的双方可以同时发送和接收信息。

2. 两类传输媒体

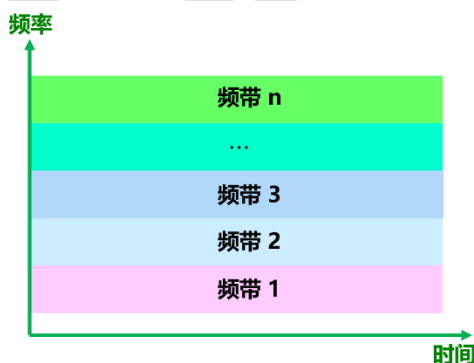
- (1) 在导引型传输媒体中，电磁波被导引沿着固体媒体（铜线或光纤）传播。
- (2) 非导引型传输媒体就是指自由空间。在非导引型传输媒体中，电磁波的传输常称为无线传输。

3. 使用信道复用技术的好处

复用即允许用户使用一个共享信道进行通信，降低成本，提高利用率。

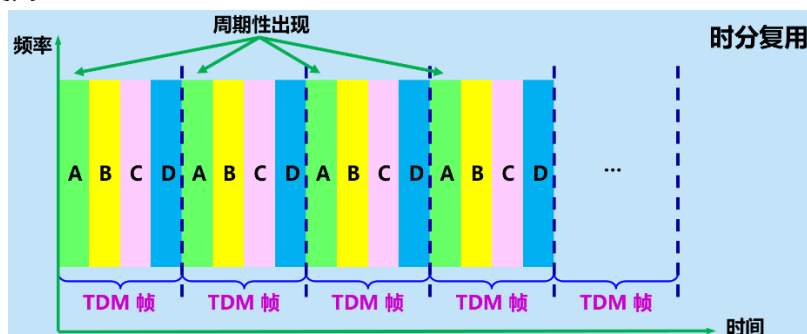
4. 四种信道复用技术

(1) 频分复用 FDM



将整个带宽分为多份，用户在分配到一定的频带后，在通信过程中自始至终都占用这个频带。频分复用的所有用户在同样的时间占用不同的带宽资源。

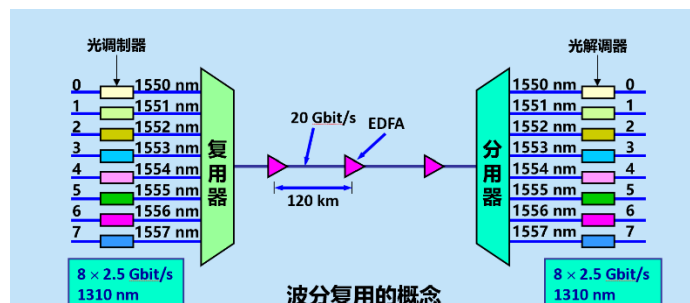
(2) 时分复用 TDM



时分复用则是将时间划分为一段段等长的时分复用帧（TDM 帧）。每一个时分复用的用户在每一个 TDM 帧中占用固定序号的时隙。每一个用户所占用的时隙是周期性地出现（其周期就是 TDM 帧的长度）的。

时分复用的所有用户在不同的时间占用同样的频带宽度。

(3) 波分复用 WDM



波分复用就是光的频分复用。使用一根光纤来同时传输多个光载波信号。

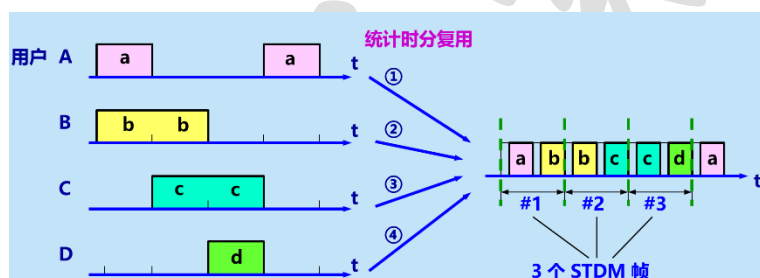
(4) 码分复用 CDM

常用的名词是码分多址 CDMA (Code Division Multiple Access)。

各用户使用经过特殊挑选的不同码型，因此彼此不会造成干扰。

这种系统发送的信号有很强的抗干扰能力，其频谱类似于白噪声，不易被敌人发现。

(5) 统计时分复用 STDM



STDM 帧不是固定分配时隙，而是按需动态地分配时隙。因此统计时分复用可以提高线路的利用率。

【例 2-1】码分多址 CDMA 的原理是什么？有何优缺点？

解：(1) 原理：CDMA 给每一个站分配的码片序列各不相同且相互正交，所谓正交就是这两个码片向量的规格化内积等于 0。任何一个码片向量和该码片向量自己的规格化内积为 1，与该码片反码的规格化内积为 -1。

(2) 优点：具有很强的抗干扰能力，频谱类似于白噪声，可以提高通信质量和数据传输的可靠性。

缺点：占据带宽较大。

【例 2-2】共有四个站进行码分多址 CDMA 通信。四个站的码片序列为：

A: $(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$ B: $(-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)$

C: $(-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)$ D: $(-1 +1 -1 -1 -1 -1 +1 -1)$

现收到这样的码片序列： $(-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1)$ 。问哪个站发送数据了？发送数据的站发送的是 1 还是 0？

解：A 站的内积： $(-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1) \cdot (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1) / 8 = 1$

B 站的内积： $(-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1) \cdot (-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1) / 8 = -1$

C 站的内积： $(-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1) \cdot (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1) / 8 = 0$

D 站的内积： $(-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1) \cdot (-1 +1 -1 -1 -1 -1 +1 -1) / 8 = 1$

因此，A 和 D 发送 1，B 发送 0，而 C 未发送数据。

5. ADSL 技术的基本概念

非对称数字用户线 ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) 技术就是用数字技术对现有的模拟电话用户线进行改造，使它能够承载宽带业务。

6. 光纤同轴混合网 (HFC 网) 的基本概念

HFC (Hybrid Fiber Coax) 网是在目前覆盖面很广的有线电视网 CATV 的基础上开发的一种居民宽带接入网。

7. FTTx 技术的基本概念

FTTx 是一种实现宽带居民接入网的方案，代表多种宽带光纤接入方式。FTTx 表示 Fiber To The... (光纤到...)，例如：光纤到户 FTTH (Fiber To The Home)：光纤一直铺设到用户家庭，可能是居民接入网最后的解决方法；光纤到大楼 FTTB (Fiber To The Building)：光纤进入大楼后就转换为电信号，然后用电缆或双绞线分配到各用户；光纤到路边 FTTC (Fiber To The Curb)：光纤铺到路边，从路边到各用户可使用星形结构双绞线作为传输媒体。

8. 信道的基本概念

信道一般用来表示向某一个方向传送信息的媒体，与电路并不等同。一条通信电路往往包含一条发送信道和一条接收信道。

9. 调制的基本概念

(1) 调制的定义：对信号源的信息进行处理加到载波上，使其变为适合于信道传输形式的过程，就是使载波随信号而改变的技术。

(2) 调制的理由：基带信号往往包含有较多的低频成分，甚至有直流成分，而许多信道并不能传输这种低频分量或直流分量。因此必须对基带信号进行调制。

(3) 调制的分类：

基带调制	仅对基带信号的波形进行变换，使它能够与信道特性相适应。变换后的信号仍然是基带信号。把这种过程称为编码。
带通调制	使用载波进行调制，把基带信号的频率范围搬移到较高的频段，并转换为模拟信号，这样就能够更好地在模拟信道中传输（即仅在一段频率范围内能够通过信道）。带通信号：经过载波调制后的信号。

(4) 基本的调整方法：调幅、调频、调相

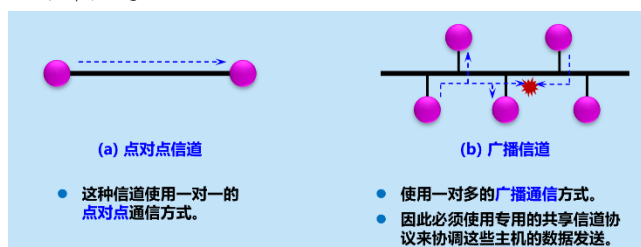
10. 物理层的主要任务

尽可能地屏蔽掉不同传输媒体和通信手段的差异，确定与传输媒体的接口的一些特性。

机械特性	指明接口所用接线器的形状和尺寸、引线数目和排列、固定和锁定装置等。
电气特性	指明在接口电缆的各条线上出现的电压的范围。
功能特性	指明某条线上出现的某一电平的电压的意义。
过程特性	指明对于不同功能的各种可能事件的出现顺序。

第三章 数据链路层

1. 数据链路层使用的两种信道



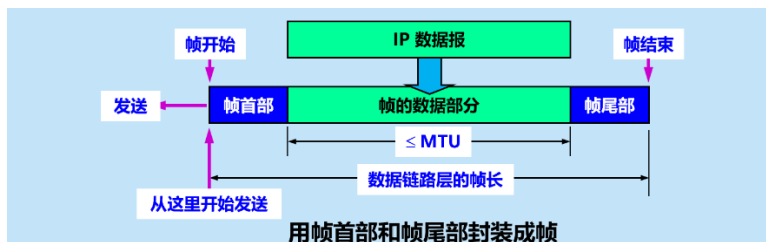
2. 帧的基本概念

点对点信道的数据链路层的协议数据单元

3. 封装成帧

(1) 概念：就是在一段数据的前后分别添加首部和尾部，然后就构成了一个帧。

(2) 目的：接收端在收到物理层上交的比特流后，可根据首部和尾部的标记，识别帧的开始和结束。



(3) MTU：数据链路层协议规定的所能传送的帧的数据部分长度上限——最大传送单元 MTU。

【例 3-1】如果在数据链路层不进行封装成帧，会发生什么问题？

解：接收端收到数据后无法知道哪些是数据，哪些是控制信息，数据在传输中是否出现差错；接收端由于无法知道数据传送结束与否，则不知道应当何时将收到的数据交给上层。

4. 透明传输的基本概念

无论发送什么样的比特组合的数据，这些数据都能够按照原样没有差错地通过这个数据链路层。

5. “无比特差错”与“无传输差错”

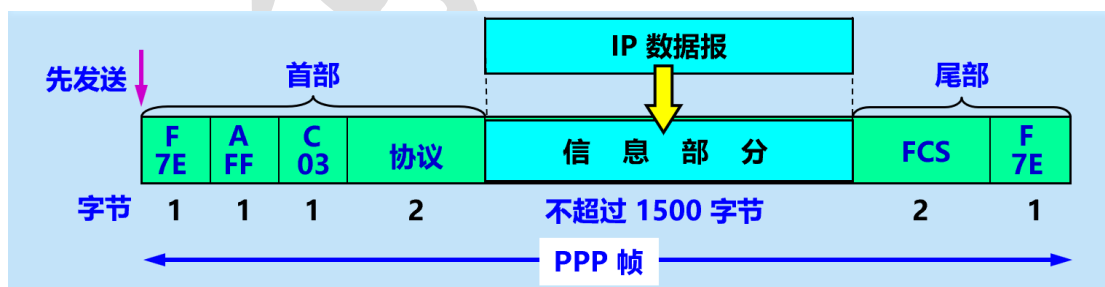
(1) 无比特差错：凡是接收端数据链路层接受的帧都没有传输差错（无差错接受）。

(2) 无传输差错：即可靠传输，接收方收下的帧无差错、不丢失、不重复、并且按序到达。

6. PPP 的基本概念与 PPP 协议的帧格式

(1) 点对点协议 PPP：目前使用得最广泛的数据链路层协议。

(2) PPP 帧的格式：



【例 3-2】PPP 协议的主要特点是什么？为什么 PPP 不适用帧的编号？PPP 适用于什么情况？

为什么 PPP 协议不能使数据链路层实现可靠传输？

解：1. 简单 —— 这是首要的要求。

封装成帧 —— 必须规定特殊的字符作为帧定界符。

透明性 —— 必须保证数据传输的透明性。

多种网络层协议 —— 能够在同一条物理链路上同时支持多种网络层协议。

多种类型链路 —— 能够在多种类型的链路上运行。

差错检测 —— 能够对接收端收到的帧进行检测，并立即丢弃有差错的帧。

2. 由于在数据链路层不需实现可靠传输，PPP 使用编号是没有必要的。

3. 适用于通信线路质量较好的情况下。

4. PPP 不提供使用序号和确认的可靠传输。

7. 解决透明传输问题的两种方法

- (1) 当 PPP 用在异步传输时，就使用一种特殊的字符填充法。
- (2) 当 PPP 用在同步传输链路时，协议规定采用硬件来完成比特填充。

8. 字节填充（字符填充）

- (1) 将信息字段中出现的每一个 0x7E 字节转变成为 2 字节序列 (0x7D, 0x7E)。
- (2) 若信息字段中出现一个 0x7D 的字节，则将其转变成为 2 字节序列 (0x7D, 0x5D)。
- (3) 若信息字段中出现 ASCII 码的控制字符（即数值小于 0x20 的字符），则在该字符前面要加入一个 0x7D 字节，同时将该字符的编码加以改变。

9. 零比特填充

- (1) 在发送端，只要发现有 5 个连续 1，则立即填入一个 0。
- (2) 接收端对帧中的比特流进行扫描。每当发现 5 个连续 1 时，就把这 5 个连续 1 后的一个 0 删除。

【例 3-3】PPP 协议使用同步传输技术传送比特串 011011111111100。试问经过零比特填充后变成怎样的比特串？若接收端收到的 PPP 帧的数据部分是 000111011111011110110，问删除发送端加入的零比特后变成怎样的比特串？

解：1. 011011111011111000。

2. 000111011111-11111-110。

【例 3-4】数据链路层中的链路控制包括哪些功能？试讨论数据链路层做成可靠的链路层有哪些优点和缺点。

解：1. 封装成帧、透明传输、差错检验。

2. 优点：可使网络中的某个结点及早发现传输中出现了差错，因而可通过数据链路层的重传来纠正差错。

缺点：虽然增加了可靠性，但是牺牲了实时性。

【例 3-5】数据链路层的三个基本问题（封装成帧、透明传输、差错检验）为什么都必须加以解决？

解：封装成帧：接收端在收到物理层上交的比特流后，就能根据首部和尾部的标记识别帧的开始和结束。

透明传输：保证无论发送什么样的比特组合的数据，这些数据都能够按照原样没有差错地通过这个数据链路层。

差错检验：使网络中的结点尽早发现传输中出现了差错，减少对网络资源的浪费。

10. 局域网的数据链路层

1. 局域网的特点：网络为一个单位所拥有；地理范围和站点数目均有限。
2. 局域网的优点：具有广播功能，从一个站点可很方便地访问全网。局域网上的主机可共享连接在局域网上的各种硬件和软件资源。

【例 3-6】局域网的主要特点是什么？为什么局域网采用广播通信方式而广域网不采用呢？

解：1. 局域网最主要的特点是：网络为一个单位所拥有；地理范围和站点数目均有限。

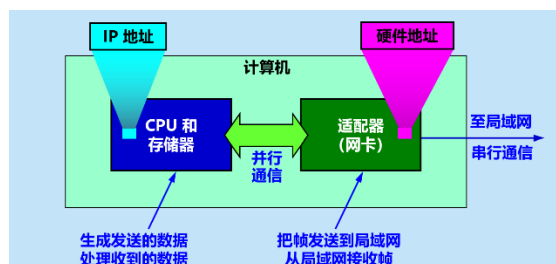
2. 局域网的地理范围和站点数目均有限，采用广播通信方式可从一个站点可很方便地访问全网。但广域网的地理范围很大，若采用广播通信方式势必造成通信资源的极大浪费。

11. 以太网的标准

DIX Ethernet V2 和 IEEE 802.3

12. 适配器的基本概念与作用

- (1) 定义：又称网络接口卡（网卡），计算机与外界局域网的连接是通过通信适配器完成的。



(2) 作用:

进行串行/并行转换
对数据进行缓存
设备驱动
实现以太网协议

(3) 功能范围: 物理层、数据链路层

13. CSMA/CD 协议的基本概念

(1) 含义: 载波监听多点接入/ 碰撞检测 (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)。

(2) 载波监听: 不管在发送前, 还是在发送中, 每个站都必须不停地检测信道。

(3) 多点接入: 说明这是总线型网络, 计算机以多点接入方式连接在一根总线上。

(4) 碰撞检测: 即边发送边监听, “碰撞”就是发生了冲突, 因此“碰撞检测”也称为“冲突检测”。

【例 3-7】以太网使用的 CSMA/CD 协议是以争用方式接入到共享信道的。这与传统的时分复用 TDM 相比优缺点如何?

解: 当网络上的负荷较轻时, CSMA/CD 协议很灵活, 哪个站想发送就可以发送, 而且发生碰撞的概率很小。如果使用时分复用 TDM, 由于很多站没有信息要发送时, 分配到的时间就浪费了, 因而效率就比较低; 当网络上的负荷较重时, CSMA/CD 协议引起的碰撞较多, 重传经常发生, 因而效率就比较低, 此时便可采用时分复用 TDM。

14. 以太网的基本概念

以太网是一种基带总线局域网, 曾用无源电缆作为总线来传送数据帧, 并以曾经在历史上表示传播电磁波的以太来命名。

15. MAC 地址的基本概念

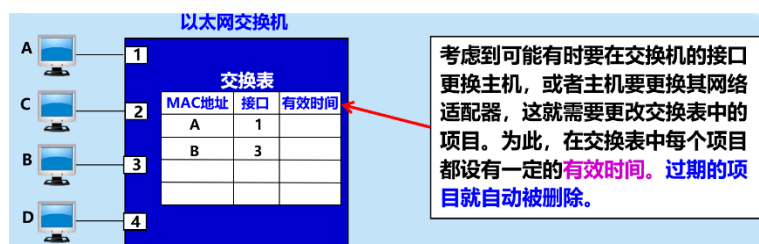
802 标准为局域网规定的一种 48 位的全球地址, 固化在适配器的 ROM 中的地址。由于使用在 MAC 帧中, 又称 MAC 地址。MAC 地址实际上就是适配器地址或适配器标识符。



IEEE 的注册管理机构 RA 负责向厂家分配地址字段 6 个字节中的前三个字节 (即高位 24 位), 称为组织唯一标识符。地址字段 6 个字节中的后三个字节 (即低位 24 位) 由厂家自行指派, 称为扩展唯一标识符, 必须保证生产出的适配器没有重复地址。

16. 以太网交换机的自学习功能

(1) 概念: 以太网交换机运行自学习算法自动维护交换表。



(2) 交换表：建立了 MAC 地址与接口的映射关系。

(3) 作用：使得以太网交换机能够即插即用，不必人工进行配置，因此非常方便。

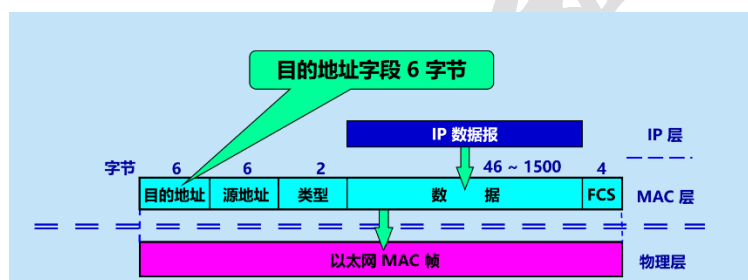
【例 3-8】以太网交换机的工作原理和特点是什么？以太网交换机和转发器有何异同？

解：1. 以太网交换机实质上就是一个多接口的网桥，工作在数据链路层，根据 MAC 帧的目的地址对收到的帧进行转发和过滤。

特点：多接口的网桥；工作在全双工方式；具有并行性，能同时连通多对接口，使多对主机能同时通信；相互通信的主机都是独占传输媒体，无碰撞地传输数据；用户独享带宽，增加了总容量。

2. 二者都是负责数据的转发工作。以太网交换机工作在数据链路层，根据 MAC 帧的目的地址对收到的帧进行转发和过滤；而转发器执行物理层协议，负责第一层（物理层）的数据中继，实现电气信号的“再生”。

17. MAC 帧格式



类型字段用来标志上一层使用的是什么协议，以便把收到的 MAC 帧的数据上交给上一层的这个协议。最后一个字段是 4 字节的帧检验序列 FCS（使用 CRC 检验）。

第四章 网络层

1. 尽最大努力交付的基本概念

网络层向上只提供简单灵活的、无连接的、尽最大努力交付的数据报服务。网络层不提供服务质量的承诺。即所传送的分组可能出错、丢失、重复和失序（不按序到达终点），当然也不保证分组传送的时限。

尽最大努力交付并不表示路由器可以任意丢弃分组，实质上就是不可靠交付。

2. 虚拟互联网的意义

所谓虚拟互连网络也就是逻辑互连网络，它的意思就是互连起来的各种物理网络的异构性本来是客观存在的，但是我们利用 IP 协议就可以使这些性能各异的网络从用户看起来好像是一个统一的网络。

使用 IP 协议的虚拟互连网络可简称为 IP 网。

使用虚拟互连网络的好处是：当互联网上的主机进行通信时，就好像在一个网络上通信一样，而看不见互连的各具体的网络异构细节。

如果在这种覆盖全球的 IP 网的上层使用 TCP 协议，那么就是现在的互联网 (Internet)。

3. 网际协议 IP

网际协议 IP 是 TCP/IP 体系中两个最主要的协议之一。与 IP 协议配套使用的还有三个协议：

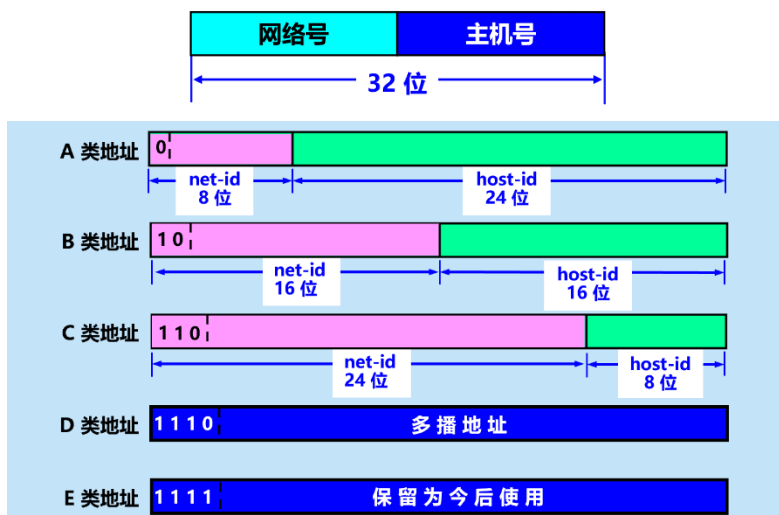
地址解析协议 ARP (Address Resolution Protocol)

网际控制报文协议 ICMP (Internet Control Message Protocol)

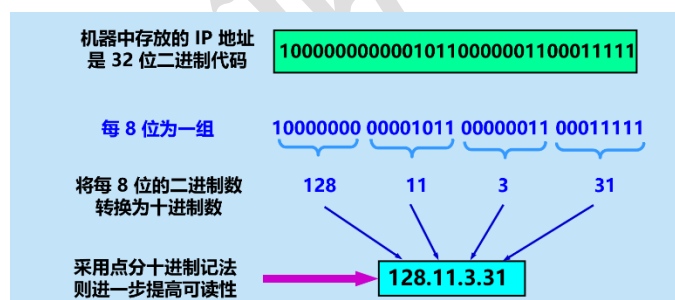
网际组管理协议 IGMP (Internet Group Management Protocol)

4. 分类的 IP 地址

这种两级的 IP 地址结构如下：



5. 点分十进制记法



6. 判定 IP 地址类别的简易方法

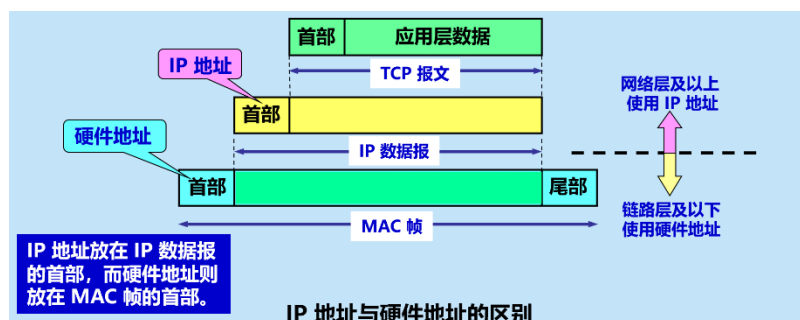
根据点分十进制记法中第一个十进制数字即可判定该地址的类别：

0~127	A 类
128~191	B 类
192~223	C 类
224~239	D 类
240~255	E 类

7. IP 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

8. IP 地址与硬件地址



(1) 硬件地址（或物理地址）是数据链路层和物理层使用的地址。

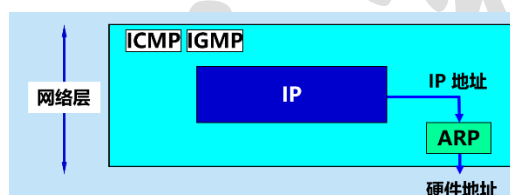
(2) IP 地址是网络层和以上各层使用的地址，是一种逻辑地址（称 IP 地址是逻辑地址是因为 IP 地址是用软件实现的）。

【例 4-1】试说明 IP 地址与硬件地址的区别。为什么要使用这两种不同的地址？

解：1. 从层次的角度看，硬件地址（或物理地址）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（称 IP 地址是逻辑地址是因为 IP 地址是用软件实现的）。

2. 由于全世界存在着各式各样的网络，它们使用不同的硬件地址。要使这些异构网络能够互相通信就必须进行非常复杂的硬件地址转换工作，而统一的 IP 地址可以解决这个问题，可以使这些性能各异的网络从用户看起来好像是一个统一的网络。

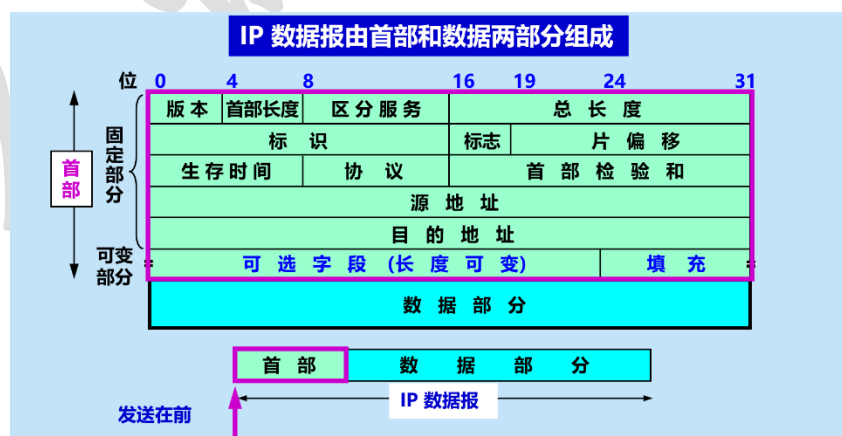
9. 地址解析协议 ARP 的作用



ARP 作用：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。

10. IP 数据报的格式

一个 IP 数据报由首部和数据两部分组成。首部的前一部分是固定长度，共 20 字节，是所有 IP 数据报必须具有的。在首部的固定部分的后面是一些可选字段，其长度是可变的。



版本	占 4 位，指 IP 协议的版本。目前的 IP 协议版本号为 4 (即 IPv4)。
首部长度	占 4 位，可表示的最大数值是 15 个单位(一个单位为 4 字节)，因此 IP 的首部长度的最大值是 60 字节。
区分服务	占 8 位，用来获得更好的服务。
总长度	占 16 位，指首部和数据之和的长度，单位为字节，因此数据报的最大长度

	为 65535 字节。总长度必须不超过最大传送单元 MTU。
标识	占 16 位，它是一个计数器，用来产生 IP 数据报的标识。
标志	占 3 位，目前只有两位有意义。标志字段的最低位是 MF (More Fragment)。MF=1 表示后面“还有分片”。MF=0 表示最后一个分片。标志字段中间的一位是 DF (Don't Fragment)。只有当 DF=0 时才允许分片。
片偏移	占 13 位，指出：较长的分组在分片后某片在原分组中的相对位置。片偏移以 8 个字节为偏移单位。
生存时间	占 8 位，记为 TTL (Time To Live)，指示数据报在网络中可通过的路由器数的最大值。
协议	占 8 位，指出此数据报携带的数据使用何种协议（比如 ICMP、IGMP、TCP、UDP...），以便目的主机的 IP 层将数据部分上交给那个处理过程
首部检验和	占 16 位，只检验数据报的首部，不检验数据部分。这里不采用 CRC 检验码而采用简单的计算方法。

【例 4-2】IP 数据报中的首部校验和并不校验数据报中的数据。这样做的最大好处是什么？坏处是什么？

解：好处：可减小计算的工作量，加快检验的过程，使分组转发更快。

坏处：数据部分出现错误不能被及早发现。

【例 4-3】当某个路由器发现一 IP 数据报的校验和有差错时，为什么采取丢弃的办法而不是要求源站重传此数据报？计算首部校验和为什么不采用 CRC 检验码？

解：1.IP 首部中的源地址也可能变成错误的，要求错误的源地址重传数据报是没有意义的。

2.为了进一步减小计算校验和的工作量。

【例 4-4】什么是最大传送单元 MTU？它和 IP 数据报首部中的哪个字段有关？

解：1.MTU 指数据链路层协议规定的一个数据帧中数据字段的最大长度。

2.“总长度”，若所传送的数据报长度超过 MTU 值，必须分片处理。

【例 4-5】在互连网中将 IP 数据报分片传送的数据报在最后的目的地主机进行组装。还可以有另一种做法，即数据报片通过一个网络就进行一次组装。试比较两种方法的优缺点。

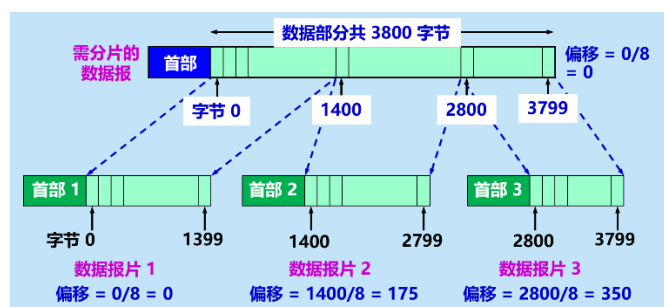
解：在目的站进行组装的原因：路由器处理数据报更简单；

并非所有的数据报片都会经过同样的路由器，故在中间路由器组装可能缺少若干数据报片；数据报片经过网络后还可能被划分为更小的片，故在中间路由器组装可能会组装多次。

11. IP 数据报的分片问题

【例 4-6】一数据报的总长度为 3820 字节，其数据部分的长度为 3800 字节（使用固定首部），需要分片为长度不超过 1420 字节的数据报片。

解：因固定首部长度为 20 字节，因此每个数据报片的数据部分长度不能超过 1400 字节。于是分为 3 个数据报片，其数据部分的长度分别为 1400、1400 和 1000 字节。原始数据报首部被复制为各数据报片的首部，但必须修改有关字段的值。

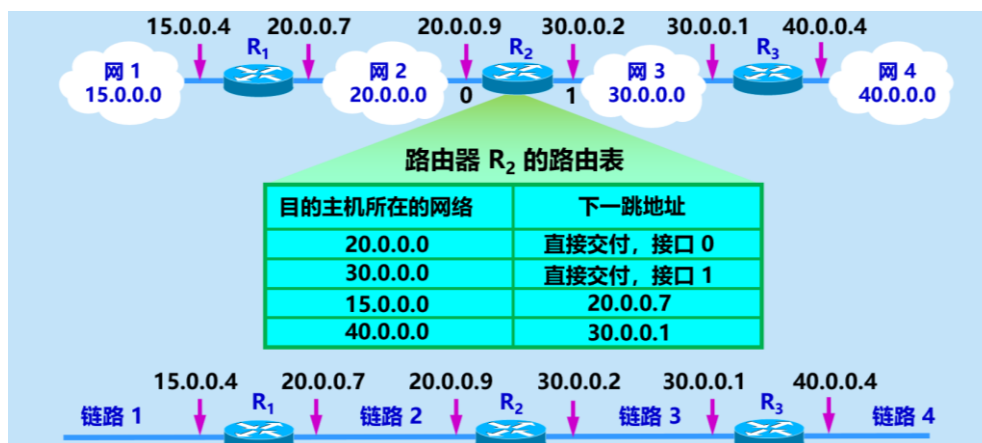


IP 数据报首部中与分片有关的字段中的数值：

	总长度	标识	MF	DF	片偏移
原始数据报	3820	12345	0	0	0
数据报片1	1420	12345	1	0	0
数据报片2	1420	12345	1	0	175
数据报片3	1020	12345	0	0	350

12. 路由器转发分组的原理

(1) 工作原理



在路由表中, 对每一条路由, 最主要的是 (目的网络地址, 下一跳地址)

根据目的网络地址就能确定下一跳路由器, 这样做的结果是: IP 数据报最终一定可以找到目的主机所在目的网络上的路由器 (可能要通过多次的间接交付)。只有到达最后一个路由器时, 才试图向目的主机进行直接交付。

(2) 最长前缀匹配原则

使用 CIDR 时, 路由表中的每个项目由“网络前缀”和“下一跳地址”组成。在查找路由表时可能会得到不止一个匹配结果。应当从匹配结果中选择具有最长网络前缀的路由: 最长前缀匹配 (longest-prefix matching)。网络前缀越长, 其地址块就越小, 因而路由就越具体 (more specific)。最长前缀匹配又称为最长匹配或最佳匹配。

【例 4-7】设某路由器建立了如下路由表:

目的网络	子网掩码	下一跳
128.96.39.0	255.255.255.128	接口 m0
128.96.39.128	255.255.255.128	接口 m1
128.96.40.0	255.255.255.128	R ₂
192.4.153.0	255.255.255.192	R ₃
* (默认)	-	R ₄

现共收到 5 个分组, 其目的地址分别为:

(1) 128.96.39.10 (2) 128.96.40.12 (3) 128.96.40.151 (4) 192.4.153.17 (5) 192.4.153.90

试分别计算其下一跳。

解: (1) $(128.96.39.10) \text{ AND } (255.255.255.128) = 128.96.39.0$, 结果与目的网络 128.96.39.0 匹配, 故通过接口 m0 直接交付。

(2) $(128.96.40.12) \text{ AND } (255.255.255.128) = 128.96.40.0$, 结果与目的网络 128.96.39.0 不

匹配;

$(128.96.40.12) \text{AND} (255.255.255.128) = 128.96.40.0$, 结果与目的网络 128.96.39.128 不匹配;

$(128.96.40.12) \text{AND} (255.255.255.128) = 128.96.40.0$, 结果与目的网络 128.96.40.0 匹配, 故其下一跳为 R_2 。

(3) $(128.96.40.151) \text{AND} (255.255.255.128) = 128.96.40.128$, 结果与目的网络 128.96.39.0 不匹配;

$(128.96.40.151) \text{AND} (255.255.255.128) = 128.96.40.128$, 结果与目的网络 128.96.39.128 不匹配;

$(128.96.40.151) \text{AND} (255.255.255.128) = 128.96.40.128$, 结果与目的网络 128.96.40.0 不匹配;

$(128.96.40.151) \text{AND} (255.255.255.192) = 128.96.40.128$, 结果与目的网络 192.4.153.0 不匹配; 故其下一跳为默认路由 R_4 。

(4)、(5) 同理可得, 这里不再赘述。

【例 4-8】收到的分组的目的地址 $D = 206.0.71.130$

路由表中的项目:

206.0.68.0/22	1
206.0.71.128/25	2

问谁更加匹配?

解: (1) 掩码 M 中有 22 个连续的“1”, 即 $M = 255.255.252.0$ 。将收到的目的地址与 M 相与, 即 $(206.0.71.130) \text{AND} (255.255.252.0) = 206.0.68.0/22$, 结果与项目 1 匹配。

(2) 掩码 M 中有 25 个连续的“1”, 即 $M = 255.255.255.128$ 。将收到的目的地址与 M 相与, 即 $(206.0.71.130) \text{AND} (255.255.255.128) = 206.0.71.128/25$, 结果与项目 2 匹配。

选择两个匹配的地址中更具体的一个, 即选择最长前缀的地址, 故最终选择项目 2。

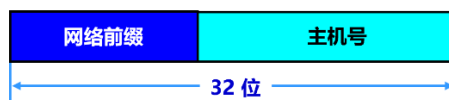
13. 无分类域间路由选择 CIDR 的主要特点

CIDR 消除了传统的 A 类、B 类和 C 类地址以及划分子网的概念, 因而可以更加有效地分配 IPv4 的地址空间。

CIDR 使用各种长度的“网络前缀”(network-prefix)来代替分类地址中的网络号和子网号。

IP 地址从三级编址 (使用子网掩码) 又回到了两级编址。

14. 无分类的两级编址的记法



IP 地址 ::= {<网络前缀>, <主机号>}

CIDR 使用“斜线记法”, 它又称为 CIDR 记法, 即在 IP 地址面加上一个斜线“/”, 然后写上网络前缀所占的位数。例如: 220.78.168.0/24。

由于传统的分类地址有时还在使用, 因此对分类地址, 也同样可以使用地址掩码。即有:

A 类地址的默认地址掩码是 255.0.0.0;

B 类地址的默认地址掩码是 255.255.0.0;

C 类地址的默认地址掩码是 255.255.255.0;

15. CIDR 地址块

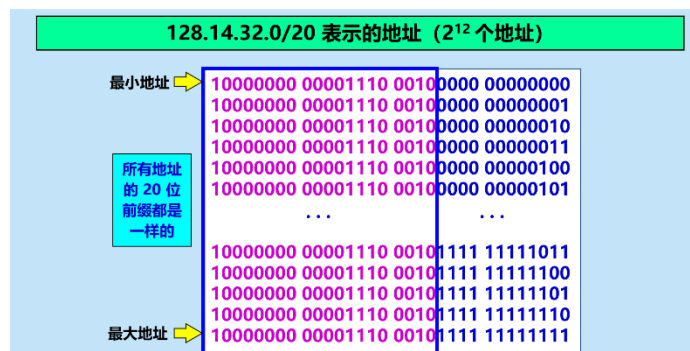
CIDR 把网络前缀都相同的连续的 IP 地址组成“CIDR 地址块”。

例如, 128.14.32.0/20 表示的地址块共有 2^{12} 个地址 (因为斜线后面的 20 是网络前缀的位数, 所以这个地址的主机号是 12 位)。这个地址块的起始地址是 128.14.32.0。在不需要

指出地址块的起始地址时，也可将这样的地址块简称为“/20 地址块”。

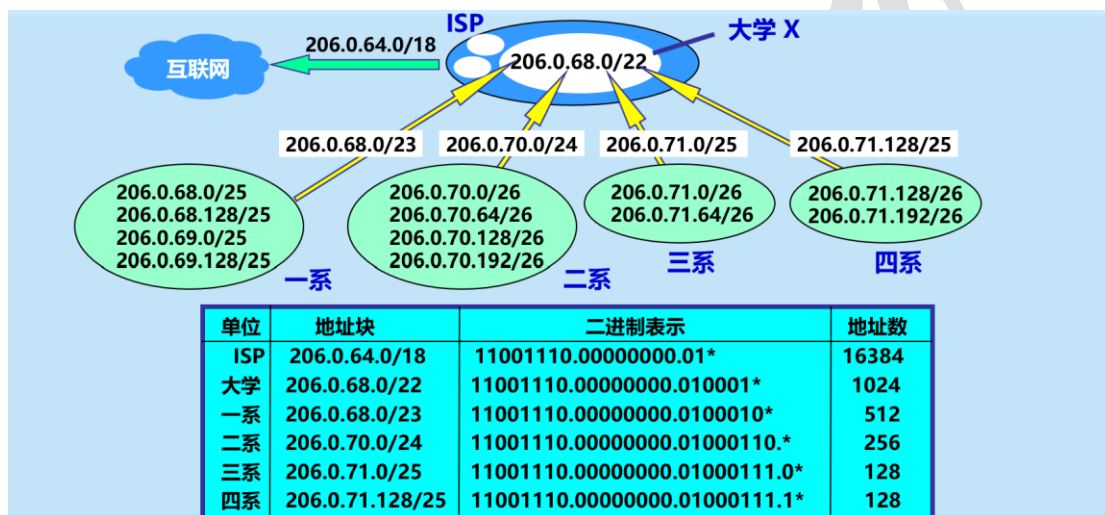
128.14.32.0/20 地址块的最小地址：128.14.32.0

128.14.32.0/20 地址块的最大地址：128.14.47.255



16. 地址聚合

使用 CIDR 的一个好处是，可以用地址聚合的方法来简化路由表。



在上图中，ISP 已拥有地址块 206.0.64.0/18，相当于有 64 个 C 类网络。现在大学 X 需要 800 个 IP 地址。在使用分类地址时，ISP 可以给大学 X 分配 4 个 C 类地址。由于每一个 C 类地址在路由表中要各占一行，这将导致在各个路由表中出现对应于大学 X 的 4 个相应的项目。

然而，在使用 CIDR 地址时，ISP 可以给大学 X 分配一个地址块 206.0.68.0/22，它包括 1024 个 IP 地址，略大于所需的 800 个 IP 地址。地址块/22 相当于 4 个连续的 C 类地址块 (/24)。此外，大学 X 可以对本校的各系分配地址块，而各系还可再划分本系的地址块。

【例 4-9】有如下的 4 个 /24 地址块，试进行最大可能的聚合。

212.56.132.0/24 212.56.133.0/24 212.56.134.0/24 212.56.135.0/24

解：将上述地址块的第三个字节进行展开，则分别有：

10000100、10000101、10000110、10000111，显然这 4 个地址块拥有共同的前缀为：

11010100 00111000 100001 (共 22 位)，且这 4 个地址块是连续的，故可以进行地址聚合，得到的最大可能聚合 CIDR 地址块为 212.56.132.0/22。

【例 4-10】有两个 CIDR 地址块分别为 208.128/11 和 208.130.28/22。是否有哪一个地址块包含了另一个地址？

解：将上述两个 CIDR 地址块从点分十进制形式转化为二进制形式，则有：

11010000 10000000
11010000 10000010 00011100

可见，前一个地址块包含了后一个。本题还说明，前缀越短，其地址块所包含的地址数就越多。

【例 4-11】以下地址中的哪一个和 86.32/12 匹配？

(1) 86.33.224.123; (2) 86.79.65.216; (3) 86.58.119.74; (4) 86.68.206.154

解：将 86.32/12 转化为二进制，有：01011000 00100000

下来，只需要把给出的四个地址的第二字节转化为二进制，看谁前 4 为是 0010 即可

(1) 0x33 = 00100001

(2) 0x79 = 01001111

(3) 0x58 = 00111010

(4) 0x68 = 01000100

所以，匹配的是 86.33.224.123。

【例 4-12】以下地址前缀中哪一个与地址 2.52.90.140 匹配？

(1) 0/4; (2) 32/4; (3) 4/6; (4) 80/4

解：给出的四个地址的前缀有 4 位和 6 位两种，因此只需观察地址 2.52.90.140 的第一字节即可。

2.52.90.140/4 是 00000010，2.52.90.140/6 是 00000010

(1) 0/4 是 0000

(2) 32/4 是 0010

(3) 4/6 是 000001

(4) 80/4 是 0101

所以，匹配的是 0/4。

【例 4-13】与下列掩码相对应的网络前缀各有多少位？

(1) 192.0.0.0; (2) 240.0.0.0; (3) 255.224.0.0; (4) 255.255.255.252

解：(1) 192.0.0.0=11000000 (后面还有 24 个 0)，网络前缀：2 位。

(2) 240.0.0.0=11110000 (后面还有 24 个 0)，网络前缀：4 位。

(3) 255.224.0.0=11111111 11100000 (后面还有 16 个 0)，网络前缀：11 位。

(4) 255.255.255.252=11111111 11111111 11111111 11111100，网络前缀：30 位。

【例 4-14】已知地址块中的一个地址是 140.120.84.24/20。试求这个地址块中的最小地址和最大地址。地址掩码是什么？地址块中共有多少个地址？相当于多少个 C 类地址？

解：将 140.120.84.24/20 由点分十进制形式转化为二进制形式，则有：

10001100 01111000 0101 *

最小地址：10001100 01111000 01010000 00000000，即 140.120.80.0

最大地址：10001100 01111000 01011111 11111111，即 140.120.95.255

地址掩码：11111111 11111111 11110000 00000000，即 255.255.240.0

地址块中共有： 2^{12} ，相当于 $\frac{2^{12}}{2^8} = 2^4 = 16$ 个 C 类地址。

【例 4-15】某单位分配到一个地址块 136.23.12.64/26。现在需要进一步划分为 4 个一样大的子网。试问：

(1) 每个子网的网络前缀有多长？

(2) 每一个子网中有多少个地址？

(3) 每一个子网的地址块是什么？

(4) 每一个子网可分配给主机使用的最小地址和最大地址是什么？

解：(1) 原来网络前缀是 26 位，需要再增加 2 位，才能划分 4 个一样大的子网。因此每个子网前缀为 28 位。

(2) 每一个子网有 $2^{32-28} = 2^4$ 个地址。

(3) 将 136.23.12.64/26 由点分十进制形式转化为二进制形式，则有：

10001000 00010111 00001100 01 *

则划分的 4 个子网的地址块为

10001000 00010111 00001100 0100 *

10001000 00010111 00001100 0101 *

10001000 00010111 00001100 0110 *

10001000 00010111 00001100 0111 *

再转化为点分十进制，分别为 136.23.12.64/28，136.23.12.80/28，136.23.12.96/28，136.23.12.112/28，

(4) 第一个地址块 136.23.12.64/28

最小地址：10001000 00010111 00001100 01000001=136.23.12.65

最大地址：10001000 00010111 00001100 01001110=136.23.12.78

第二个地址块 136.23.12.80/28

最小地址：10001000 00010111 00001100 01010001=136.23.12.81

最大地址：10001000 00010111 00001100 01011110=136.23.12.94

第三个地址块 136.23.12.96/28

最小地址：10001000 00010111 00001100 01100001=136.23.12.97

最大地址：10001000 00010111 00001100 01101110=136.23.12.110

第四个地址块 136.23.12.112/28

最小地址：10001000 00010111 00001100 01110001=136.23.12.113

最大地址：10001000 00010111 00001100 01111110=136.23.12.126

17. 子网掩码的基本概念

子网掩码是用来标识两个 IP 地址是否同属于一个子网。它也是一组 32 位长的二进制数值，其每一位上的数值代表不同含义：为“1”则代表该位是网络位；若为“0”则代表该位是主机位。和 IP 地址一样，人们同样使用（点式十进制）来表示子网掩码，如：255.255.0.0。如果两个 IP 地址分别与同一个子网掩码进行按位“与”计算后得到相同的结果，即表明这两个 IP 地址处于同一个子网中。

第五章 运输层

1. 运输层的两个主要协议

用户数据报协议 UDP	传输控制协议 TCP
无连接的协议，提供无连接服务；	面向连接的协议，提供面向连接服务；
其传送的运输协议数据单元 TPDU 是 UDP 报文或用户数据报；	其传送的运输协议数据单元 TPDU 是 TCP 报文段；
支持单播、多播、广播；	支持点对点单播，不支持多播、广播；
不提供可靠交付；	提供可靠服务；
简单。适用于很多应用，如：多媒体应用等。	复杂。用于大多数应用，如：万维网、电子邮件、文件传送等。

2. UDP 的主要特点

UDP 是无连接的，发送数据之前不需要建立连接，因此减少了开销和发送数据之前的时

延。

UDP 使用尽最大努力交付，即不保证可靠交付，因此主机不需要维持复杂的连接状态表。

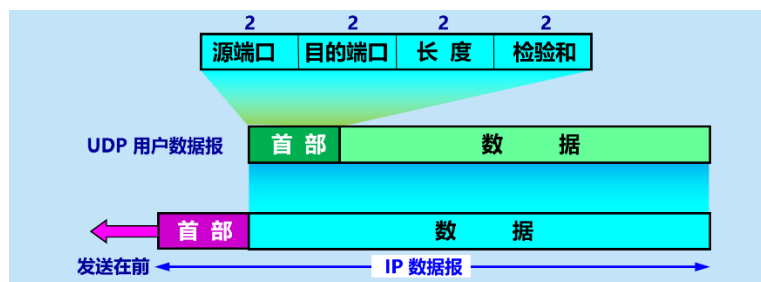
UDP 是面向报文的。UDP 对应用层交下来的报文，既合并，也不拆分，而是保留这些报文的边界。UDP 一次交付一个完整的报文。

UDP 没有拥塞控制，因此网络出现的拥塞不会使源主机的发送速率降低。这对某些实时应用是很重要的。很适合多媒体通信的要求。

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，比 TCP 的 20 个字节的首部要短。

3. UDP 的首部格式



用户数据报 UDP 有两个字段：数据字段和首部字段。首部字段有 8 个字节，由 4 个字段组成，每个字段都是 2 个字节。

源端口	在需要对方回信时选用，不需要时可用全 0。
目的端口	在终点交付报文时必须使用。
长度	UDP 用户数据报的长度，其最小值是 8（仅有首部）。
检验和	检测 UDP 数据报在传输种是否有错。有错就丢弃。

4. TCP 的主要特点

TCP 是面向连接的运输层协议，在无连接的、不可靠的 IP 网络服务基础之上提供可靠交付的服务。为此，在 IP 的数据报服务基础之上，增加了保证可靠性的一系列措施。

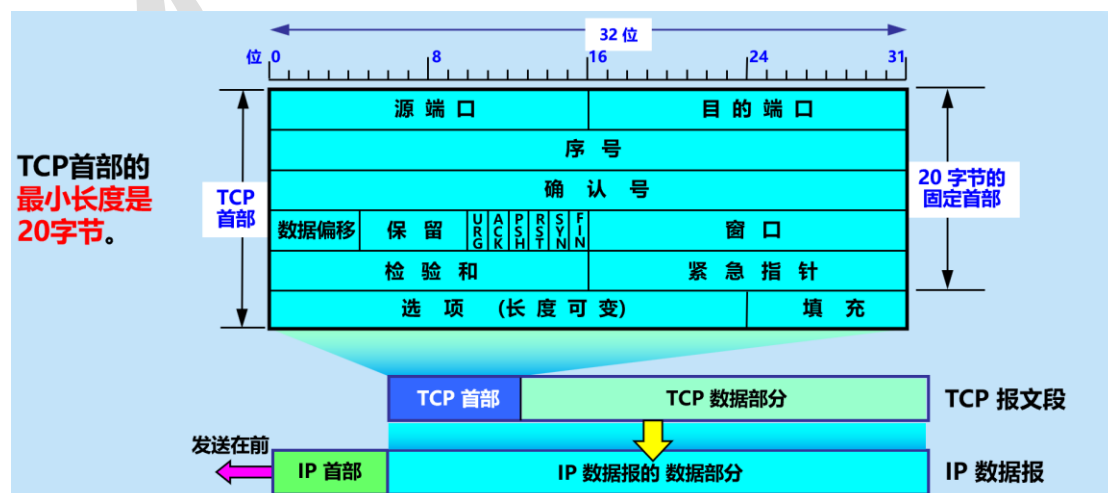
每一条 TCP 连接只能有两个端点，每一条 TCP 连接只能是点对点的（一对一）。

TCP 提供可靠交付的服务。通过 TCP 连接传送的数据，无差错、不丢失、不重复、并且按序到达。

TCP 提供全双工通信。

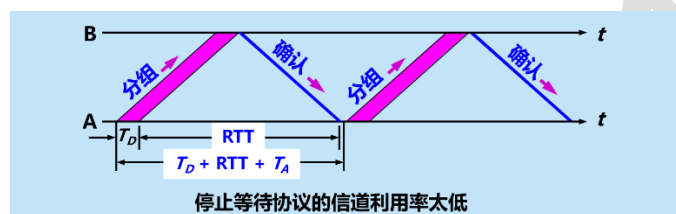
面向字节流。“流”指的是流入或流出进程的字节序列。虽然应用程序和 TCP 的交互是一次一个数据块，但 TCP 把应用程序交下来的数据看成仅仅是一连串无结构的字节流。

5. TCP 的首部格式



源端口和目的端口	各占 2 字节。端口是运输层与应用层的服务接口。运输层的复用和分用功能都要通过端口才能实现。
序号	占 4 字节。TCP 连接中传送的数据流中的每一个字节都编上一个序号。
确认号	占 4 字节，是期望收到对方的下一个报文段的数据的第一个字节的序号。
数据偏移（即首部长度）	占 4 位，它指出 TCP 报文段的数据起始处距离 TCP 报文段的起始处有多远。“数据偏移”的单位是 32 位字（以 4 字节为计算单位）。
保留	占 6 位，保留为今后使用，但目前应置为 0。
窗口	占 2 字节，用来让对方设置发送窗口的依据，单位为字节。
检验和	占 2 字节。检验和字段检验的范围包括首部和数据这两部分。
紧急指针	占 16 位，指出在本报文段中紧急数据共有多少个字节。
选项	长度可变，最长可达 40 字节。当没有使用时，TCP 的首部长度是 20 字节。

6. 停止等待协议的信道利用率



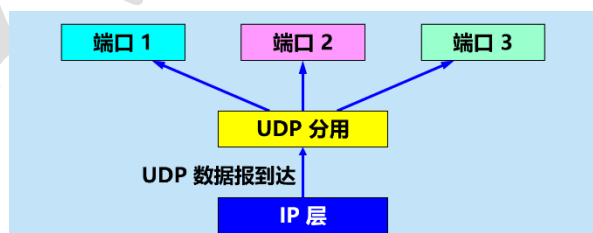
$$U = \frac{T_D}{T_D + RTT + T_A}$$

式中， T_D 为 A 发送分组需要的时间， RTT 为往返时间， T_A 为 B 发送确认分组需要的时间。

【例 5-1】假定 1200km 的信道的往返时间 $RTT = 20ms$ 。分组长度是 1200bit，发送速率是 1Mbit/s。若忽略处理时间和 T_A (T_A 一般都远小于 T_D)，则可算出

$$U = \frac{T_D}{T_D + RTT} = \frac{\frac{1200bit}{1Mbit/s}}{\frac{1200bit}{1Mbit/s} + 20 \times 10^{-3}s} \times 100\% = 5.66\%$$

7. UDP 基于端口的分用



当运输层从 IP 层收到 UDP 数据报时，就根据首部中的目的端口，把 UDP 数据报通过相应的端口，上交给最后的终点——应用进程。

8. 拥塞控制与流量控制

拥塞控制	流量控制
防止过多的数据注入到网络中，使网络中的路由器或链路不致过载。	抑制发送端发送数据的速率，以使接收端来得及接收。
是一个全局性的过程，涉及到与降低网络传输性能有关的所有因素。	是点对点通信量的控制，是端到端的问题。

第六章 应用层

1. 域名的基本概念

域名系统 (DNS) 是互连网使用的命名系统, 用来把便于人们使用的机器名字转换为 IP 地址。用户与互连网上某台主机通信时, 必须知道对方的 IP 地址。即使是点分十进制 IP 地址也不容易记忆, 但在应用层为了便于用户记忆各种网络应用, 连接在互连网上的主机不仅有 IP 地址, 而且还有便于用户记忆的主机名字。DNS 能把互连网上的主机名字转换为 IP 地址。

2. FTP 的基本概念

(1) 定义: 文件传送协议 FTP (File Transfer Protocol) 是互联网上使用得最广泛的文件传送协议。

(2) 特点:

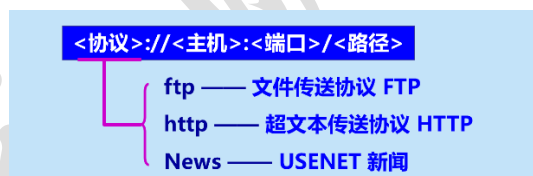
FTP 提供交互式的访问, 允许客户指明文件的类型与格式, 并允许文件具有存取权限。
FTP 屏蔽了各计算机系统的细节, 因而适合于在异构网络中任意计算机之间传送文件。
文件传送协议 FTP 只提供文件传送的一些基本的服务, 它使用 TCP 可靠的运输服务。
FTP 的主要功能是减少或消除在不同操作系统下处理文件的不兼容性。
FTP 使用客户服务器方式。一个 FTP 服务器进程可同时为多个客户进程提供服务。

3. URL 的基本概念

(1) 定义: 资源定位符 URL 是对可以从互联网上得到的资源的位置和访问方法的一种简洁表示。

(2) 作用: URL 给资源的位置提供一种抽象的识别方法, 并用这种方法给资源定位。只要能够对资源定位, 系统就可以对资源进行各种操作, 如存取、更新、替换和查找其属性。

(3) 一般形式:



4. HTTP 的基本概念

(1) 定义: HTTP 协议规定了浏览器 (即万维网客户进程) 怎样向万维网服务器请求万维网文档, 以及服务器怎样把文档传送给浏览器。

(2) 特点:

HTTP 使用了面向连接的 TCP 作为运输层协议, 保证了数据的可靠传输。
HTTP 协议本身也是无连接的, 虽然它使用了面向连接的 TCP 向上提供的服务。

5. HTML 的基本概念

超文本标记语言 HTML 中的 Markup 的意思就是“设置标记”。HTML 定义了许多用于排版的命令 (即标签)。HTML 把各种标签嵌入到万维网的页面中。这样就构成了所谓的 HTML 文档。HTML 文档是一种可以用任何文本编辑器创建的 ASCII 码文件。仅当 HTML 文档是以 .html 或 .htm 为后缀时, 浏览器才对此文档的各种标签进行解释。

```

<HTML>
<HEAD>
  <TITLE>一个 HTML 的例子</TITLE>
</HEAD>
<BODY>
  <H1>HTML 很容易掌握</H1>
  <P>这是第一个段落。虽然很短，但它仍是一个段落。</P>
  <P>这是第二个段落。</P>
</BODY>
</HTML>

```

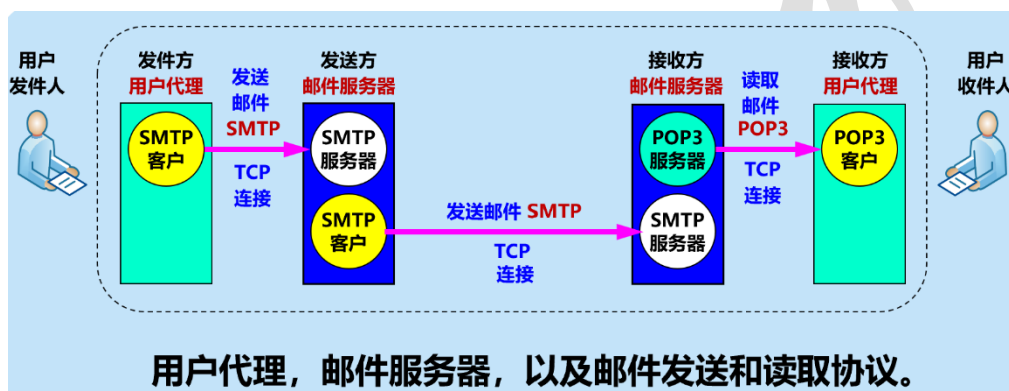
HTML 文档开始

6. 电子邮件的基本概念

(1) 定义：电子邮件 (e-mail)：指使用电子设备交换的邮件及其方法。电子邮件是互联网上使用得最多的和最受用户欢迎的一种应用。

(2) 优点：使用方便，传递迅速，费用低廉，可以传送多种类型的信息（包括：文字信息，声音和图像等）。

(3) 组成：



①简单邮件传送协议 SMTP

SMTP 规定了在两个相互通信的 SMTP 进程交换信息的方法。

SMTP 使用客户-服务器方式。

SMTP 基于 TCP 实现客户与服务器的通信。

②邮件读取协议 POP3

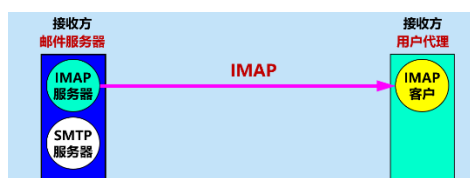
POP3 使用客户-服务器方式。

POP3 基 TCP 实现客户与服务器的通信。

POP3 支持用户鉴别。

POP3 服务器删除被用户读取了的邮件。

③邮件读取协议 IMAP



IMAP 使用客户-服务器方式。

IMAP 基于 TCP 实现客户与服务器的通信。

连接后只下载邮件首部（部分下载）。

用户可以在不同的地方使用不同的计算机随时上网阅读和处理自己的邮件。