

物理层

3. 香农公式的运用

- (1) 假定要用3 kHz带宽的电话信道传送64 kbit/s的数据（无差错传输），试问这个信道应该具有多高的信噪比？（分别用比值和分贝来表示）
- (2) 某链路的带宽为4 kHz，信噪比为30 dB，则该链路的理论最大数据传输速率约为多少？

答案：(1) 直接带入香农公式： $C = 3\text{kHz} \times \log_2(1 + S/N) = 64 \text{ kbits}$ ，解得 $1+S/N=2^{64/3}$ ，信噪比 $S/N = 2^{64/3} - 1$ ，换算成分贝为 $10\log_{10}(2^{64/3} - 1) \text{ dB}$ ；(2) 理论最大数据传输速率 $c = 4\text{k} \times \log_2(1+S/N)30(\text{dB}) = 10 \times \log_{10}(S/N)(\text{dB})$ 解得 $S/N=1000$ 代入公式 $c = 4\text{k} \times \log_2(1+S/N) \approx 40\text{kbps}$

4. 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)
- 现在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？

$A = (-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1) \cdot (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1) / 8$

$B = (-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1) \cdot (-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1) / 8$

$C = (-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1) \cdot (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1) / 8$

$D = (-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1) \cdot (-1 +1 -1 -1 -1 -1 +1 -1) / 8$

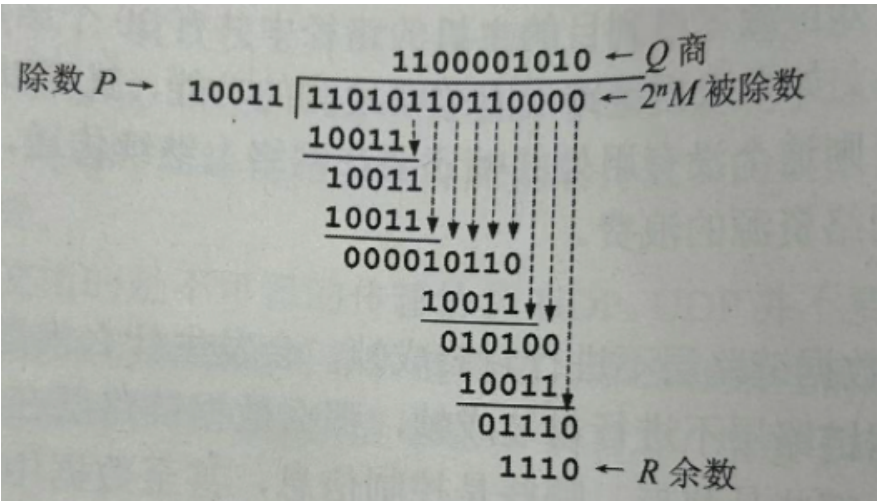
解得 A站内积为1，B站内积为-1，C站内积为0，D站内积为1；即AD发送1，B发送0，C不发送

5. 若某通信链路的数据传输速率为2400bps，采用4相位调制，则该链路的波特率是多少？

码元传输速率B与数据传输率C的关系为 $C = B\log_2 N$ ，N 为一个码元所取的离散值个数。采用4种相位，也即可以表示4种变化，因此一个码元可携带 $\log_2 4 = 2$ 比特信息，则该链路的波特率 = 比特率/每码元所含比特数 = 2400/2=1200波特。

数据链路层

1. 假设现在有个要发送的数据为1101011011，采用CRC的生成多项式为 $P(X) = X^4 + X + 1$ ，试求应添在数据后面的余数（要求写出计算过程）。
- 多项式的二进制表示： $P = 10011$ ，除数5位，数据后面添加4个0可得出被除数。经过模二运算得到余数为1110。具体计算过程：



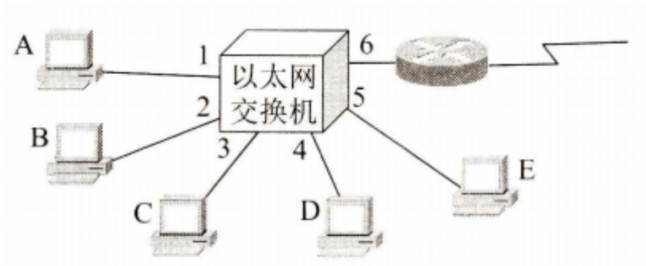
2. 假设1km长的CSMA/CD网络的数据率为1Gbit/s。设信号在网络上的传播速率为200000 km/s。求能够使用此协议的最短帧长。（要求写出计算过程）

1km长的CSMA/CD网络的端到端传播时延 $\tau = (1\text{km})/(200000\text{km/s}) = 5\mu\text{s}$

$2\tau = 10\mu\text{s}$ ，在此时间内要发送 $(1\text{Gb/s}) \cdot (10\mu\text{s}) = 10000\text{bit}$

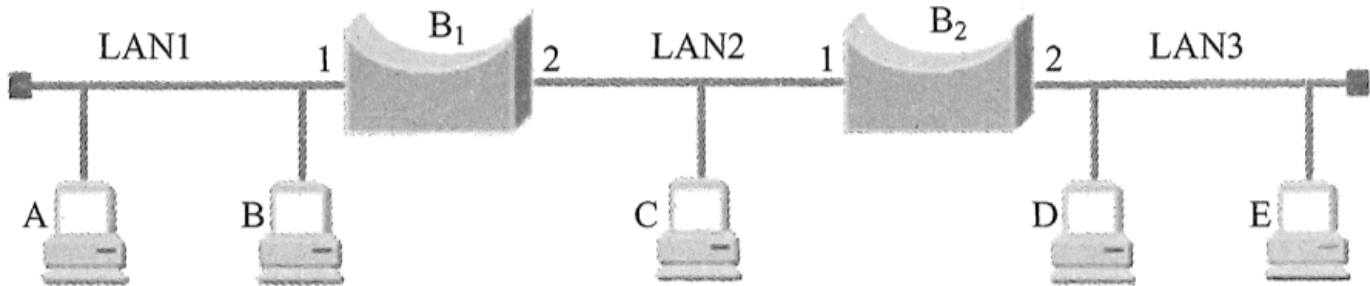
只有经过这样一段时间后发送端才能收到碰撞的信息（如果发生碰撞的话），也才能检测得到碰撞ED发生。故最短帧长为10000bit，或1250B

3. 一个采取自学习算法的以太网交换机有6个接口，分别接到5台主机和一个路由器。下面表的“动作”一栏中，表示先后发送了4个帧，假设在开始时，以太网交换机的交换表是空的。请把该表中的其他项目都填完。（不考虑有效时间）



动作序号	动作	交换表写入状态	向哪些接口转发帧
1	A发送帧给D	空表，没有和收到帧的源地址有相匹配的项目，则添加（源地址、进入接口）	空表，向除了进入的接口之外的其他接口转发（其他所有的接口，除了A）
2	D发送帧给A	没有（D,4），写入（D，4）	交换表中，和收到帧的目的地址有一个项（A，1）匹配，发给A
3	E发送帧给A	写入（E，5）	发给A
4	A发送帧给E	把原有的项目（A，1）进行更新（主要更新进入的接口和有效时间）只有1接口，不考虑时间，所以不变（可以写更新但结果不变）	发给E

4. 如下图所示，5个站点分别连接在3个局域网，并且用网桥B1和B2连接起来，每个网桥都有两个接口(1和2)。初始时，两个网桥中的转发表都是空的，以后有以下各站向其他的站发送了数据帧：A发送给E, C发送给B, D发送给C, B发送给A。请把有关信息填写在下表中。（处理方式包括转发、丢弃或登记）



4, 5 和 0	→	01000101	00000000
28	→	00000000	00011100
1	→	00000000	00000001
0 和 0	→	00000000	00000000
4 和 17	→	00000100	00010001
0	→	00000000	00000000
10, 12	→	00001010	00001100
14, 5	→	00001110	00000101
12, 6	→	00001100	00000110
7, 9	→	00000111	00001001
和	→	01110100	01001110
检验和	→	10001011	10110001

进位技巧：例如，最低位相加，一共有4个1，相加后得二进制的100，把最低位的0写下，作为和的最低位。进位中的0不必管它，进位中的1要与右边第3位相加；右边第2位相加时，只有一个1，相加后得1，没有进位。把1写在右边第2位上。右边第3位相加时，共有4个1和一个进位的1，即总共5个1，相加后得101，把这个和最右边的1写在和的右边第3位上。进位的1应当与右边第5位的数字相加，等等。

4. 某单位分配到一个B类IP地址，其net-id为129.250.0.0。该单位有4000台机器，平均分布在16个不同的地点。如选用子网掩码为255.255.255.0，请尝试给每个地点分配一个子网号码，并算出每个地点主机号码的最小值和最大值。

4000台计算机，平均分布在16个不同的地点。每个地点有250台计算机。因此，主机号host-id有8位就够了。而16个不同地点需要有16个子网。考虑到不使用全1和全0的子网号，因此子网号subnet-id至少需要5位（可以有30个子网）。这样，本题的解答并不是唯一的，子网号可以从5位到8位。但题目已经给定了子网掩码为255.255.255.0，就是说，题目已经确定了采用8位的子网号，因此可以选用子网号从0000001到000100这样16个号码。每一个地点的主机号host-id从00000001到11111010共250个号码

（注意：本题由于明确规定采取老式的A、B、C类IP地址，在使用全1和全0的子网号时会出现子网网络地址与主网络地址重合的问题，故较早的RFC950规定不采用全1和全0的子网号，去掉全0全1针对的是计算一个子网内可用的数量、范围。但目前大部分网络采取CIDR形式，在此情况下无需讨论这个问题，而实际组网的过程中，需要看所配备的路由器的新旧情况、是否支持全0与全1的情况，涉及的内容超过了本书讨论范围。总之在做题的过程中，碰到明确说明A、B、C类地址则不能有全0的子网号；如果是以CIDR记法呈现则无需作此讨论，但仍需注意网络层PPT上强调一般不使用的特殊的IP地址）

5. IP数据报分片：一个数据报长度为4000字节（固定首部长度）。现在经过一个网络传送，但此网络能够传送的最大数据长度为1500字节。问应当划分为几个短些的数据报片？各数据报片的数据字段长度、片偏移字段和MF标志应为何数值？

IP首部的标志位有3B，包含MF位和DF位（More Fragment和Don't Fragment）。其中MF用来告知目的主机该IP数据报是否为原始数据报的最后一个片。长4000B的IP数据报，减去首部20B，数据部分3980B。现在MTU最大传送单元为1500B，得分成3个独立的片，注意每个片也是一个IP数据报。3980 = (1480) + (1480) + (1020)

答案：数据报片3个，1480,1480,1020字节；片偏移字段值为0,185和370；MF字段1,1,0

6. 有如下的4个/24地址块，试进行最大可能的聚合，得到最大可能的聚合CIDR地址块

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

212.56.132.0/24的第三个字节的二进制表示是10000100；

212.56.133.0/24的第三个字节的二进制表示是10000101；

212.56.134.0/24的第三个字节的二进制表示是10000110；

212.56.135.0/24的第三个字节的二进制表示是10000101。

可以看出，第三字节仅最后两位不都一样，而前面6位都是相同的。这4个地址共同前缀是两个字节加上6位，即22位。故最大可能的聚合的CDR地

址块是：212.56.132.0/22。

7. 收到一个分组，其目的地址D=11.1.2.5，要查找的路由表中有这三项：

路由1： 到达网络11.0.0.0/8

路由2： 到达网络11.1.0.0/16

路由3： 到达网络11.1.2.0/24

请问在转发这个分组的时候，应当选择哪一个路由？并说明理由

当查找路由1时，目的网络的掩码是8个1和24个0，即255.0.0.0。和D进行AND操作时，得到11.0.0.0，结果是匹配的。
当查找路由2时，目的网络的掩码是16个1和16个0，即255.255.0.0。和D进行AND操作时，得到11.1.0.0，结果也是匹配的。
当查找路由3时，目的网络的掩码是24个1和8个0，即255.255.255.0。和D进行AND操作时，得到11.1.2.0，结果也是匹配的。
根据最长前缀匹配准则，应当选择路由3，因为路由3的目的网络前缀为24，是三个都匹配的结果中前缀最长的一个。

8. 在某个使用RIP的网络中，B和C互为相邻路由器，其中表1为B的原路由表，表2为C广播的距离向量报文<目的网络，距离>

表1： B的原路由表

目的网络	距离	下一跳
N1	7	A
N2	2	C
N6	8	F
N8	4	E
N9	4	D

表2： C广播的距离向量报文

目的网络	距离
N2	15
N3	2
N4	8
N8	2
N7	4

- a. 试求路由器B更新后的路由表。
- b. 当路由器B收到发往网络N2的IP分组时，应该做何处理？

根据RP算法，首先将从C收到的路由信息的下一跳改为C,并且将每个距离都加1，得：

目的网络	距离	下一跳
N2	16	C
N3	3	C
N4	9	C
N8	3	C
N7	5	C

将题中表2与原路由表项进行比较，根据更新路由表项的规则：①如果目的网络相同，且下一跳路由器相同直接更新；②如果是新的目的网络地址，那么增加表项③若目的网络相同，且下一跳路由器不同，而距离更短，则更新；④否则，无操作。更新后的路由表见下表。

目的网络	距离	下一跳
N1	7	A
N2	16	C
N3	3	C
N4	9	C
N6	8	F
N7	5	C
N8	3	C
N9	4	D

在更新后的路由表中，路由器B到N2的距离为16（网络拓扑结构变化导致），这意味着N2网络不可达，这时路由器B应该丢弃该P分组并向源主机报告目的不可达。

传输层

1. 一个UDP用户数据报的首部的十六进制表示是：06 32 00 45 00 1C E2 17。试求源端口、目的端口、用户数据报的总长度、数据部分长度。这个用户数据报是从客户发送给服务器还是服务器发送给客户？（写出计算过程，结果请用十进制表示）

把UDP首部8个字节的数值写成二进制表示的数值，得到源端口的十进制表示是1586，目的端口表示是69，UDP用户数据报总长度是28字节，数据部分长度是UDP总长度减去首部长度28-8=20字节；此UDP用户数据报是客户发给服务器的，因为目的端口号是熟知端口，即<1023；

2. 通信信道带宽为1Gbit/s，端到端传播时延为10ms。TCP的发送窗口为65535字节。试问：可能达到的最大吞吐量是多少？信道的利用率是多少？

发送时延=数据长度/信道带宽= $65535 \times 8\text{bit} / (1\text{Gb/s}) \approx 0.52428\text{ms}$ ；
传播往返时延= $2 \times 10\text{ms} = 20\text{ms}$ （发送数据和接收确认）；
故每发送一个窗口大小的流量需要：
总时延 = 发送时延 + 传播往返时延 = $0.52428 + 20 = 20.52428\text{ms}$ 。
因此最大数据吞吐量 = $(0.524280\text{Mbit}) / (20.52428\text{ms}) = 25544769\text{bit/s} \approx 25.5\text{Mb/s}$
信道的利用率 = $(25.5\text{Mb/s}) / (1000\text{Mb/s}) = 2.55$

3. 假设TCP在开始建立连接时，发送方设置超时重传时间为RTO=6秒。
a. 当发送方收到对方的连接确认报文段时，测量出RTT样本值为1.5秒。试计算现在的RTO值
b. 当发送方发送数据报文段并收到确认时，测量出RTT样本值为2.5秒。试计算现在的RTO值

(1)当第一次测量到RTT样本时，RTTs值就取为这个测量到的RTT样本值。
因此， $RTT_s = 1.5\text{s}$ 。
根据RFC2988的建议，当第一次测量时， RTT_D 值取为测量到的RTT样本值的一半
因此， $RTT_D = (1/2) \times 1.5\text{s} = 0.75\text{s}$ 。

根据教材上(5-5)式, $RTO = RTT_s + 4 \times RTT_D = 1.5s + 4 \times 0.75s = 4.5s$

(2)新的RTT样本=2.5s

按(5-4)式: 新的 $RTT_s = (1 - \alpha) \times (\text{旧的} RTT_s) + \alpha \times (\text{新的} RTT \text{样本}) = (1 - 1/8) \times 1.5s + 1/8 \times 2.5s = 1.625s$

按(5-6)式:

新的 $RTT_D = (1 - \beta) \times (\text{旧的} RTT_D) + \beta \times |RTT_s - \text{新的} RTT \text{样本}| = (1 - 1/4) \times 0.75s + 1/4 \times 1.625s - 2.5s = 0.78125 \approx 0.78s$

按(5-5)式:

$RTO = RTT_s + 4 \times RTT_D = 1.625s + 4 \times 0.78s \approx 4.75s$

4. 一个TCP连接下面使用256kbit/s的链路, 其端到端时延为128ms。经测试, 发现吞吐量只有120kbit/s。试问发送窗口W是多少? (提示: 按照接收端发出确认的时机, 可以分两种情况讨论, 即接收端在收完一批数据的最后才发出确认, 或接收端每收到一个很小的报文段后就发回确认)

解答: 设发送窗口= $W \text{ bit}$, 再设发送端连续发送完窗口内的数据所需的时间= T 。有

两种情况: a. 接收端在收完一批数据的最后才发出确认, 因此发送端经过 $(256ms + T)$ 后才能发送下一个窗口的数据。b. 接收端每收到一个很小的报文段后就发回确认, 因此发送端经过比256 ms略多一些的时间即可再发送数据。因此每经过256ms就能发送一个窗口的数据。

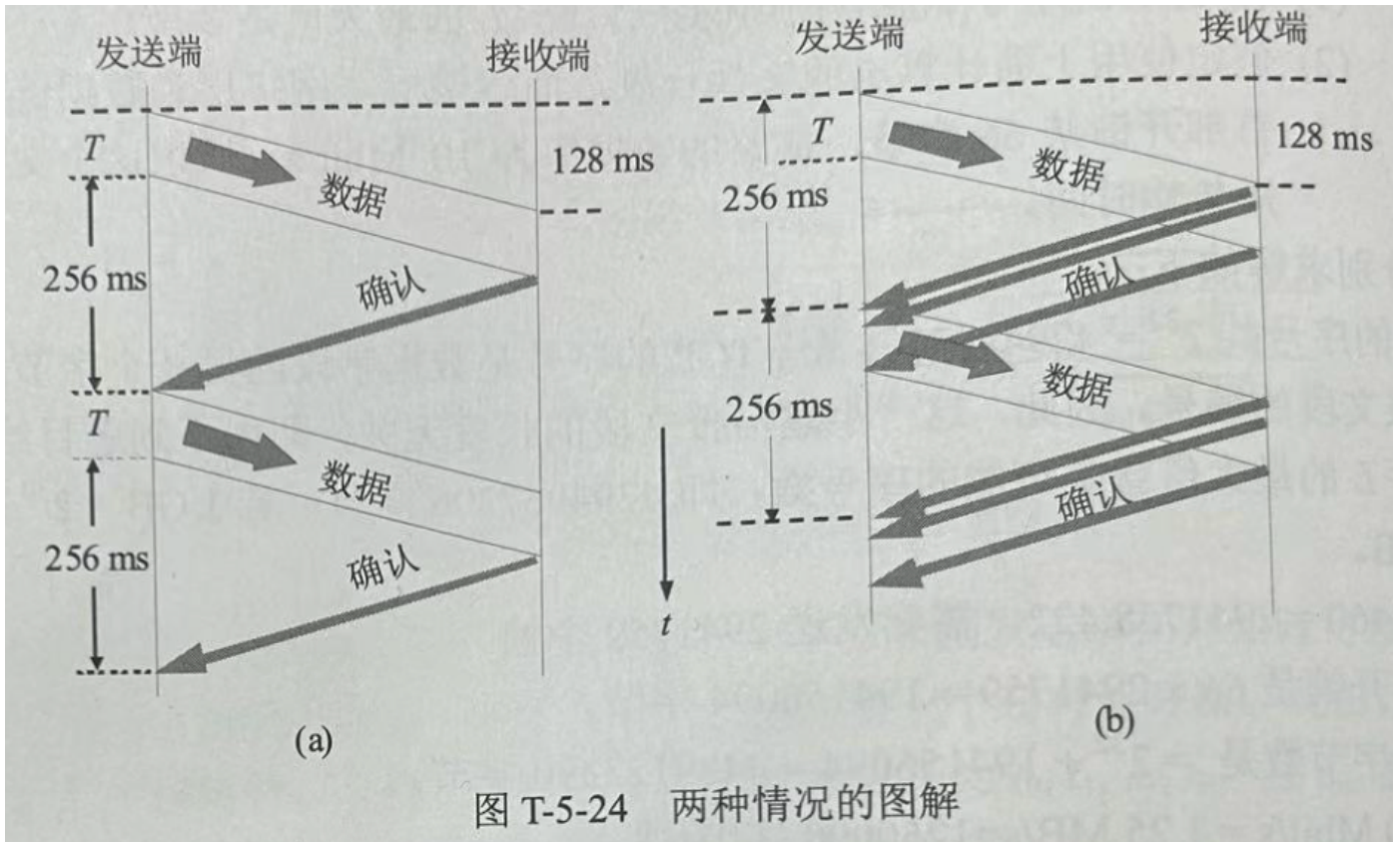


图 T-5-24 两种情况的图解

对于a.

$$\text{吞吐量} = \frac{W}{\frac{W}{256kbit/s} + 256ms} = 120kbit/s$$
$$W = 57825.88bit \approx 7228B$$

对于b.

$$\text{吞吐量} = \frac{W}{256ms} = 120kbit/s$$
$$W = 30720bit = 3840B$$

6. 设TCP的拥塞窗口的慢开始门限值初始为12 (单位为报文段), 当拥塞窗口达到16时

出现超时，再次进入慢启动过程。从此时起若恢复到超时时刻的拥塞窗口大小，需要的往返次数是多少？

在慢启动和拥塞避免算法中，拥塞窗口初始为1，窗口大小开始按指数增长。当拥塞窗口大于慢开始门限后停止使用慢启动算法，改用拥塞避免算法。此处慢开始的门限值初始为12，当拥塞窗口增大到12时改用拥塞避免算法，窗口大小按线性增长，每次增加1个报文段，当增加到16时，出现超时，重新设门限值为8(16的一半)，拥塞窗口再重新设为1，执行慢启动算法，到门限值8时执行拥塞避免算法。这样，拥塞窗口的变化就为：1,2,4,8,12,13,14,15,16,1,2,4,8,9,10,11,12,13,14,15,16,...。可见从出现超时时拥塞窗口为16到恢复拥塞窗口大小为16，需要的往返时间次数是12。

(本题的“此时起”指代不够明确，如果从慢启动过程开始的话可以得出往返次数11。考试中会进行更精确的说明)

习题课

1. 在OSI模型中，各层都有差错控制过程。指出以下每种差错发生在OSI的哪些层中？

- 1) 噪声使传输链路上的一个0变成1或一个1变成0。
- 2) 一个分组被传送到错误的目的站。
- 3) 收到一个序号错误的目的帧。
- 4) 一台打印机正在打印，突然收到一个错误指令要打印头回到本行的开始位置。

- 1)物理层。物理层负责正确、透明地传输比特流(0、1)。
- 2)网络层。网络层的PDU称为分组，分组转发是网络层的功能。
- 3)数据链路层。数据链路层的PDU称为帧，帧的差错检测是数据链路层的功能。
- 4)应用层。打印机是向用户提供服务的，运行的是应用层的程序。

2. 下列有关数据链路层差错控制的叙述中，错误的是（ ）。
- A.数据链路层只能提供差错检测，而不提供对差错的纠正
 - B.奇偶校验码只能检测出错误而无法对其进行修正，也无法检测出双位错误
 - C. CRC校验码可以检测出所有的单比特错误
 - D.海明码可以纠正一位差错

链路层的差错控制有两种策略：检错编码和纠错编码。常见的检错的编码有奇偶校验码和循环冗余码。最基本的一种就是奇偶校验码，原理比较简单，但它也只能检测出一位错误，两位以上的检测不出来。具体的请回头翻阅教材课本，它没有纠错的功能；常见的纠错码有海明码，它可以纠正一位差错。选A。

3. 下表是使用无类别域间路由选择(CIDR)的路由选择表，地址字段是用十六进制表示的，试指出具有下列目标地址的P分组将被投递到哪个下一站？

- ① C4.5E.13.87 ② C4.5E.22.09 ③ C3.41.80.02 ④ 5E.43.91.12

网络/掩码长度	下一站地
C4.50.0.0/12	A
C4.5E.10.0/20	B
C4.60.0.0/12	C
C4.68.0.0/14	D
80.0.0.0/1	E
40.0.0.0/2	F

- ① 网络号C4.5E.10.0/20(下一站地是B)的第3字节可以用二进制表示成00010000。目标地址C4.5E.13.87的第3字节可以用二进制表示成00010011，显然取20位掩码与网络号C4.5E.10.0/20相匹配，所以具有该目标地址的P分组将被投递到下一站地B。
- ② 网络号C4.50.0.0/12(下一站地是A)的第2字节可以用二进制表示成01010000。目标地址C4.5E.22.09的第2字节可以用二进制表示成01011110，显然取12位掩码与网络号C4.50.0.0/12相匹配，所以具有该目的地址的P分组将被投递到下一站地A。
- ③ 网络号80.0.0.0/1（下一站地是E)的第1字节可以用二进制表示成10000000。目标地址C3.41.80.02的第1字节可以用二进制表示成11000011，显然取1位掩码与网络号80.0.0.0/1相匹配，所以具有该目标地址的P分组将被投递到下一站地E。
- ④ 网络号40.0.0.0/2（下一站地是F)的第1字节可以用二进制表示成01000000。目标地址5E.43.91.12的第1字节可以用二进制表示成01011110，显然取2位掩码与网络号40.0.0.0/2相匹配，所以具有该目标地址的P分组将被投递到下一站地F。

4. 假设某卫星信道上数据的传输速率为 1Mbps，数据帧长为 5Kb，卫星信道的单向传播时延为 250ms，采用滑动窗口（窗口大小为4个数据帧）进行传输。假设帧控制信息、ACK 帧长度及其处理时延均可忽略不计，求该卫星信道的利用率。

滑动窗口大小 $W=4$ ，即每次可连续发送4个数据帧，其总传输时延为 $4 \times 5\text{Kb}/1\text{Mbps} = 20\text{ms}$ ，而往返时间 RTT 为 $250\text{ms} \times 2 = 500\text{ms}$ ，忽略处理时延与 ACK 帧的传播、传输时延，信道利用率约为 $20\text{ms}/(500\text{ms}+20\text{ms}) = 3.85\%$