

计算机网络原理公式及计算题

第三章物理层

公式一:数据传输速率的定义和计算

每秒能传输的二进制信息位数, 单位为位/秒 (bits per second), 记作bps或b/s

$$R=1/T*\text{Log}_2^N \text{ (bps)}$$

T为一个数字脉冲信号的宽度(全宽码情况)或重复周期(归零码情况)单位为秒.

N一个码元所取有效离散值个数, 也称调制电平数, 取2的整数次方值

公式二: 信号传输速率(码元速率、调制速率或波特率)定义和计算

单位时间内通过信道传输的码元个数, 也就是信号经调制后的传输速率, 单位为波特 (Baud)。

$$B=1/T \text{ (Baud)}$$

公式三:调制速率与数据传输速率的对应关系式

$$R=B*\text{Log}_2^N \text{ (bps)}$$

公式四 :奈奎斯特公式

奈奎斯特 (Nyquist) 定理奈奎斯特首先给出了无噪声情况下码元速率的极限值B与信息带宽H的关系

$$B=2*H \quad H\text{是信道的带宽, 单位为Hz}$$

信道传输能力的奈奎斯特公式：

$$C=2*H*\text{Log}_2 N$$

公式五 :香农公式

受随机噪声干扰的信道情况，给出了计算信道的香农公式：

$$C=H*\text{Log}_2 (1+S/N) \quad (\text{bps})$$

其中，S表示信号功率，N为噪声功率，S/N则为信噪比。由于实际使用的信道的信噪比都要足够大，故常表示成 $10*\log_{10} (S/N)$ ，以分贝 (dB) 为单位来计算，在使用时要特别注意

公式六 :误码率

误码率是衡量数据通信系统在正常工作情况下的工作情况下的传输可靠性的指标，它定义为二进制数据传输出错的概率。设传输的二进制数据总数为N位，其中出错的位数为Ne，则误码率表示为：

$$P_e = N_e/N$$

公式七 :采样定律

采样定理

- ❖ $F_s (= 1/T_s) \geq 2F_{\max}$ 或 $F_s \geq 2B_s$
- ❖ F_s 是采样频率， F_{\max} 是原始信号最大频率， T_s 为采样周期，
 $B_s (= F_{\max} - F_{\min})$ 为原始信号的带宽。
- ❖ 量化级是2的整数倍，用来生成每次采样的二进制码的个数，
- ❖ $2^{\text{二进制码个数}} = \text{量化级}$ ，比如量化级为128，则每次采样二进制码为7个
- ❖ 信号传输速率=采样频率*每次采样的二进制码个数
- ❖ $R(\text{数据传输率}) = 1/T * \log_2 N$

公式八： T1载波和E1载波的编码效率和开销率。

T1载波利用脉码调制PCM和时分TDM技术，使24路采样声音信号复用在一个通道。每一个帧包含 193位，每一帧用 125us时间传送。T1系统的数据传输速率为1.544Mbps。



E1 载波(欧洲标准)。它每一帧开始处有 8 位同步作用，中间有 8 位作用信令，再组织 30 路 8 位数据，全帧包括 256 位，每一帧用 125us 时间传送。可计算出 E1 系统的数据传输速率为 $256 \text{ 位} / 125 \mu\text{s} = 2.048 \text{ Mbps}$ 。

用户的开销为 $24 \times 1 (\text{控制位}) + 1 (\text{基本帧}) = 25 \text{ b}$ 总开销为： $(7+1) \times 24 + 1 = 193 \text{ b}$ 因此，用户的开销所占的百分比为： $25 / 193 \times 100\% \approx 13\%$

1) T1 载波的编码效率 = $7 \times 24 / (8 \times 24 + 1) = 168 / 193 = 87\%$

开销率 = $(1 \times 24 + 1) / 193 = 25 / 193 = 13\%$

2) E1 载波的编码效率 = $8 \times 30 / (8 + 8 + 8 \times 30) = 240 / 256 = 93.75\%$

开销率 = $(8 + 8) / 256 = 16 / 256 = 6.25\%$

计算题：

1、设信道带宽为 3400Hz，采用 PCM 编码，采样周期为 125b/s，每个样本量化为 128 个等级，则信道的数据速率为（ ）？

解析：本题使用公式七采样定律

采样周期为 125b/s 所以为 8000Hz，即， $f=1/T=1/0.000125=8000\text{Hz}$ ，128 个量化等级，需要 7 位编码（也就是 2 的 7 次方）。

$R(\text{数据传输率})=1/T*\log_2 N=8000*7=56\text{kb/s}$ ---> $B(\text{调制速率})=1/T \text{ baud}$

2、 在一个带宽为 3KHz, 没有噪声的信道, 传输二进制信号时能够达到的极限数据传输率为____. 一个带宽为 3KHz, 信噪比为 30dB 的信道, 能够达到的极限数据传输率为____, 上述结果表明____. 根据奈奎斯特第一定理, 为了保证传输质量, 为达到 3Kbps 的数据传输率要的带宽为____, 在一个无限带宽的无噪声信道上, 传输二进制信号, 当信号的带宽为 3KHz 时, 能达到的极限数据率为__Kbps.

解析： 使用公式四奈奎斯特定律和公式五香农公式

(1) 根据奈奎斯特第一定理, 理想低通信道传输二进制信号时能够达到的数据传输率为 $2B$ (带宽)。 $B=2H=2*3\text{K}=6\text{K}$

(2) 一个带宽为 3KHz、信噪比为 30dB 的信道, 能够达到的极限数据传输率为 $3\text{KHz}*\log_2(1+10^{30/10})=29.9\text{Kbit/s}\approx 30\text{kbps}$

(3) 香农公式是针对有噪声的信道而言的。

(4) 根据奈奎斯特第一定理, 数字信号数据率为 W , 传输系统带宽为 $2W$, 则可提供满意的服务。 3Kbps 的数据传输率需要的带宽为 $2*3=6\text{Hz}$

(5) 在一个无限带宽的无噪声信道上, 传输二进制信号, 当信号的带宽为 3KHz 时, 能达到的极限数据传输率 6Kbps。

3、 设有 3 路模拟信号, 带宽分别为 2kHz. 4kHz, 2kHz, 8 路数字信号, 数据率都为 7200bps, 当采用 TDM 方式将其复用到一条通信线路上, 假定复用后为数字传输, 对模拟信号采用 PCM 方式量化级数为 16 级, 则复用线路需要的最小通信能力为?

解析：本题使用公式七采样定律

对 3 路模拟信号采用 PCM 方式变为数字信号, 采样频率是带宽的两倍分别为 4KHz, 8KHz, 4KHz, 对模拟信号采用 PCM 方式量化级数为 16 级, $\log_2 16=4$ 需要的数

据率=采样频率*采样二进制码个数分别为 16kbps, 32kbps 16kbps
对 8 路数字信号, $8 \times 7200 = 57.6\text{kbps}$ 答案为 $64 + 57.6 = 121.6$ 约等于 128Kbps

4、 若要在采用两种物理状态传输的 50Kbps 信道上传输 1.544Mbps 的 T1 载波, 问信道的信噪比至少要多少?

解析: 求信噪比需要使用香农公式:

$$C = H \cdot \log_2^{(1+S/N)}$$

调制速率和数据传输率对应关系式:

$$R = B \cdot \log_2^N (\text{bps}) \longrightarrow B = R / \log_2^N (\text{baud})$$

$$1) B = R / \log_2^N = 50\text{K} / \log_2^2 = 50\text{K} (\text{Baud})$$

$$2) B = 2 \cdot H \longrightarrow H = B / 2 = 50\text{K} / 2 = 25\text{K} (\text{Hz}) \text{ 求出了带宽}$$

$$3) C = H \cdot \log_2^{(1+S/N)}, C = 1.544\text{Mbps} = 1544\text{Kbps}$$

$$S/N = 2^{C/H} - 1 = 2^{1544\text{K}/25\text{K}} - 1 = 2^{61.76} - 1 = 2.3058430092137 \cdot 10^{18}$$

然后将上面的 S/N 转化为 dB 形式:

转化公式:

$$10 \lg(S/N) = 10 \lg(2.3058430092137 \cdot 10^{18})$$

$$= 10 \cdot 18.363$$

$$= 183.63 \text{ dB}$$

$$10 \lg(S/N) = 10 \lg(2^{61.76} - 1) = 10 \cdot 18.6 = 186 (\text{分贝}) (\text{噪音太大了!})$$

5、 某调制解调器同时使用幅移键控和相移键控, 采用 0, $\pi/2$, π 和 $3/2$ π 四种相位, 每种相位又都有两个不同的幅值, 问在波特率为 1200 的情况下数据速率是多少?

答: 使用公式三, 调制速率与数据速率的关系公式

$$R = B \cdot \log_2^N$$

$$= 1200 \cdot \log_2^8$$

$$= 3600\text{bps}$$

6、 采用每种相位各有两种幅度的带宽为 8KHz 的无噪信道上传输数字信号, 若要达到 64Kbps 的数据速率, PAM 调制方法 至少要多少种不同的相位?

答: 由无噪信道的奈奎斯特公式: $C = 2H \log_2 N$ 得:

$$N = 2^{C/2H} = 2^{64\text{K}/(2 \cdot 8\text{K})} = 2^4 = 16, \text{ 相位数} = 16/2 = 8$$

即至少要 8 种不同的相位。

7、信道带宽为 3KHz，信噪比为 30db，则每秒能发送的比特数不会超过多少 bps?

答：本题使用香农公式

$$C = H * \log_2^{(1+S/N)}$$

$$C = 3K * \log_2 (1+10^{30/10})$$

$$C = 30Kbps$$

8、带宽为 4KHz，如果有 8 种不同的物理状态表示数据，信噪比为 30dB.

那么按奈氏准则和香农定理计算，分别计算其最大限制的数据传输速率

奈氏准则： $C = 2H \log_2^N$

$$C = 2 * 4 * \log_2^8$$

$$C = 24Kbps$$

香农定理： $C = H * \log_2^{(1+S/N)}$

$$C = 4 * \log_2 (1+10^{30/10})$$

$$C = 40Kbps$$

9、设利用 12MHz 的采样频率对信号进行采样，若量化级为 4，试计算出在无噪声信道中的数据传输速率和所需的信道带宽。（要求写出计算过程）

根据公式三采样 12MHz 是采样频率 $R=B * \log_2^N$

数据传输率=采样频率*log2(4)=2*采样频率=24Mbps

这里所说的带宽是模拟信道的带宽，也即被采样信号的带宽。

根据采样定律： $B=2 * H$ 被采样信号带宽=采样频率/2=6MHz

所以要容纳这个信号，需要的信道带宽为 6MHz。

10、对于带宽为 6MHz 的信道，若用 4 种不同的状态来表示数据，在不考虑热噪声的情况下，该信道的最大数据传输速率是多少？

答：由无热噪声的奈奎斯特公式： $C=2H\log_2 N=2*6M*\log_2 4=24\text{Mbps}$ ，即该信道的最大数据传输速率是 24Mbps。

11、数据速率为 1200bps, 采用无校验、1 位停止位的异步传输，问 1 分钟内最多能传输多少个汉字（双字节）？

答：本题考查的是对异步传输时群同步的字符格式（一个字符 8 位，一个起始位和一个停止位）1 分钟内最多能传输的汉字为：

$$1200*60/[2*(1+8+1)]=72000/20=3600(\text{个})$$

12、信源以字节(8 比特)为单位传输数据，若数据速率为 B(bps), 对下列两种情况分别计算有效数据传输速率：

(1) 异步串行传输，无校验位、1 位停止位；

(2) 同步串行传输，每帧包含 48 位控制位和 4096 位数据位。

答：(1) 有效数据传输速率： $8/(1+8+1)=8/10$

(2) 有效数据传输速率： $4096/(48+4096)=4096/4144$

13、调制解调器的传输速率为 4800bps，并采用 1 位起始位，1 位停止位，1 位奇偶校验位的异步传输模式，求传输 2400 个汉字所需要的时间。（要求写出计算过程）

答：因为一个汉字占两个字节，所以得：

$$2400*[(1+1+8+1)*2]/4800\text{bps}$$

$$=11\text{s}$$

14、调制解调器采用 1 位起始位，1 位停止位，无奇偶校验位的异步传输模式，一分钟传输 7200 个汉字，至少达到多大传输速率

$$7200*(1+1+8)*2/60=2400\text{bps}$$

15、在一个数字信道上，数字脉冲信号的宽度 833×10^{-6} ，采用四象调制法，信道传输速率是多少？

$$R = 1/T \cdot \log_2 4 = 1/(833 \times 10^{-6}) \cdot 2 = 2400 \text{ bps}$$

16、一条 600Kb 的消息要在 20 秒内发出，信道宽度 3KHZ，信噪比 20dB，信道是否能完成工作，不能，信噪比要调成多少？

消息所需最小速率是 $600/20 = 30 \text{ Kbps}$

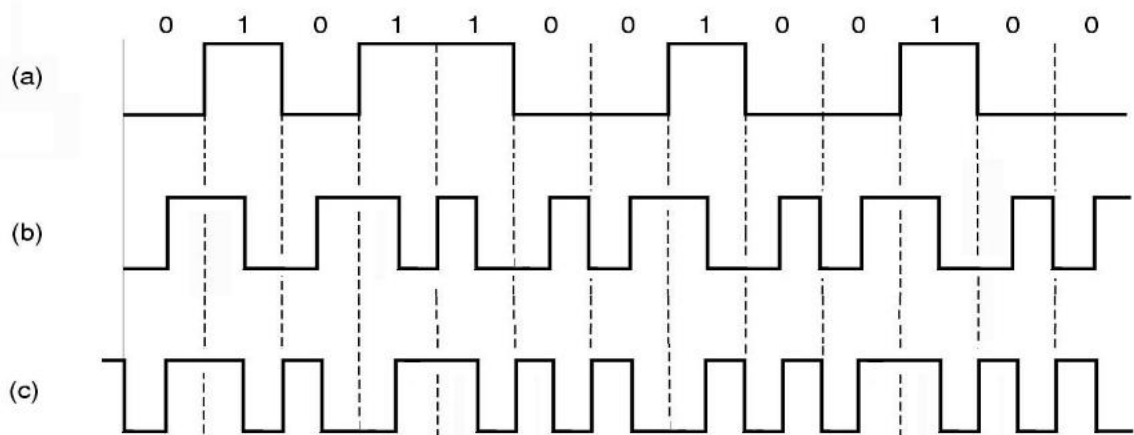
根据香农公式信道传输速率 $= 3 \text{ K} \cdot \log_2 (1 + 10^{20/10}) = 20 \text{ Kbps}$ 不能完成工作，

$$S/N = 10 \cdot \lg 2^{30/3} = 30 \text{ dB}$$

课后习题

4. 控制字符 SYN 的 ASCII 码编码为 00101110，请画出 SYN 的 FSK、NRZ、曼彻斯特编码与差分曼彻斯特编码等四种编码方法的信号波形。

a) 不归零码 (NRZ) b) 曼彻斯特码 c) 差分曼彻斯特码



FSK 频移键控用两段频率不同的波来表示 0 和 1

5. 对于脉冲编码制 PCM 来说，如果要对频率为 600Hz 的某种语音信号进行采样，传送 PCM 信号的信道带宽为 3KHz，那么采样频率 f 取什么值时，采样的样本就可以包含足够重构原语音信号的所有信息。

根据采样定理，只要采样频率大于等于有效信号最高频率或其带宽的两倍，则采样值便可包含原始信号的全部信息，利用低通滤波器可以从这些采样中重新构造出原始信号。

$$\text{所以 } F_s (= 1/T_s) \geq 2F_{\max}$$

$$f=2*600\text{Hz}=1200\text{Hz}$$

9、考虑一条长度为 50Km 的点到点链路，对一个 100 字节的分组，带宽为多大时其传播延迟（速度为 $2*10^8\text{m/s}$ ）等于发送延迟？对于 512 字节的分组，情况又如何？

传输时延=帧长/数据传输速率（带宽）；传播时延=两端距离/电磁波传播速率

传播延迟等于：

$$50*10^3 \text{ 米} / (2*10^8 \text{ 米/秒}) = 25*10^{-5} \text{ 秒} = 250 \text{ 微秒}$$

$$100 \text{ 字节} / 250 \text{ 微秒} = 0.4 \text{ 字节} * 10^6 / \text{秒} = 0.4 \text{ M 字节/秒} = 3.2 \text{ Mbps}$$

$$512 \text{ 字节} / 250 \text{ 微秒} = 2.04 \text{ M 字节/秒} * 8 = 16384 \text{ Kbps}$$

10、计算下列情况的时延（从第一个比特发送到最后一个比特接收）：

(a) 在通路上有 1 个存储转发交换机的 1Gbps 以太网，分组大小是 5000 位。假定每条链路引入 10 微妙的传播延迟，并且交换机在接收完分组之后立即重发。

解答：分析 一个交换机应有 2 条链路

$$1 \text{ 位的发送延迟} = 1/10^9 = 10^{-9} \text{ S} = 0.001 \mu \text{ s}$$

所以，一个分组由 5000 位组成，在每条链路上引入的发送延迟是 $5 \mu \text{ s}$ ，

分组在每条链路上的传播延迟都是 $10 \mu \text{ s}$

因此总的延迟等于： $5 \times 2 + 10 \times 2 = 30 \mu \text{ s}$ 。（两次发送，两次传播）

（整个分组接收完经过分析才确定转发的外出端口，因此延迟了一个分组的发送时间）

(b) 跟 (a) 的情况类似, 但有 3 个交换机。

解答: 3 个交换机, 共有 4 条链路, 总的延迟等于:

$$5 \times 4 + 10 \times 4 = 60 \mu s \text{ 。 (4 次发送, 4 次传播)}$$

(c) 跟 (a) 的情况相同, 但假定交换机实施“直通”交换: 它可以在收到分组的开头 128 位后就重发分组。

解答: 使用直通交换, 交换机延迟分组 128 位, 即 $0.128 \mu s$ 。在这种情况下仍然有 1 个 $5 \mu s$ 的发送延迟, 2 个 $10 \mu s$ 的传播延迟, 再加上 $0.128 \mu s$ 的交换机转发延迟, 因此总的延迟等于:

$$5 \times 1 + 10 \times 2 + 0.128 = 25.128 \mu s \text{ (1 个发送延迟, 2 个传播延迟, 1 个转发延迟)}$$

如果像 (b) 那样有 3 个交换机, 那么总的延迟将会等于:

$$5 \times 1 + 10 \times 4 + 0.128 \times 3 = 45.384 \mu s \text{ 。 (1 个发送延迟, 4 个传播延迟, 3 个转发延迟)}$$

11、假设在地球和一个火星探测车之间架设了一条 128Kbps 的点到点的链路, 从火星到地球的距离(当它们离得最近时)大约是 55gm, 而且数据在链路上以光速传播, 即 3×10^8 m/s。

$$a) \text{ 传播时延} = 55 \times 10^6 \text{ 公里} = 550 \times 10^8 \text{ 米} / (3 \times 10^8 \text{ 米/秒}) = 183.3 \text{ 秒}$$

2、接收端检错的过程

$T(X)/G(X)=Q(X)$ $Q(X)=0$ 则传输无错误, 否则有错误

补充题

1、 HDLC 传输 25 个汉字, 帧中信息位占多少字节, 总帧长多少字节?

信息位 $25 \times 2 = 50$ 字节, 总帧长 P87 起始标志 1 字节, 地址 1 字节, 控制 1 字节, 校验字段 2 字节, 结束标记 1 字节共 6 字节, 所以帧长 56 字节.

2、 用 BSC 传 18 个汉字, 采用不带报头的单块报文传输, 有效传输率是多少? P85

由 BSC 规程, 不带报头(以字符串格式)的分块传输的帧格式为:

SYN	SYN	STX	报文	ETB/ETX	BCC
-----	-----	-----	----	---------	-----

有效传输率 $36/41$

3、生成多项式 X^4+X^2+1 , 求信息位 1010010 的 CRC 冗余位

10100100000 除以 10101 余数 1011 就是 CRC 冗余位

3、 PPP 传输 2000 汉字, 帧控制字符 10 字节, 净荷域最大值默认长度 1500 字节, 需要分几帧传输, 总帧长多少字节 P90

答: 需要传输 $2000 \times 2 = 4000$ 字节, 每个帧传 1500 字节, 需要传 3 帧
总帧长 $= 4000 + 3 \times 10 = 4030$ 字节

课后习题

P91

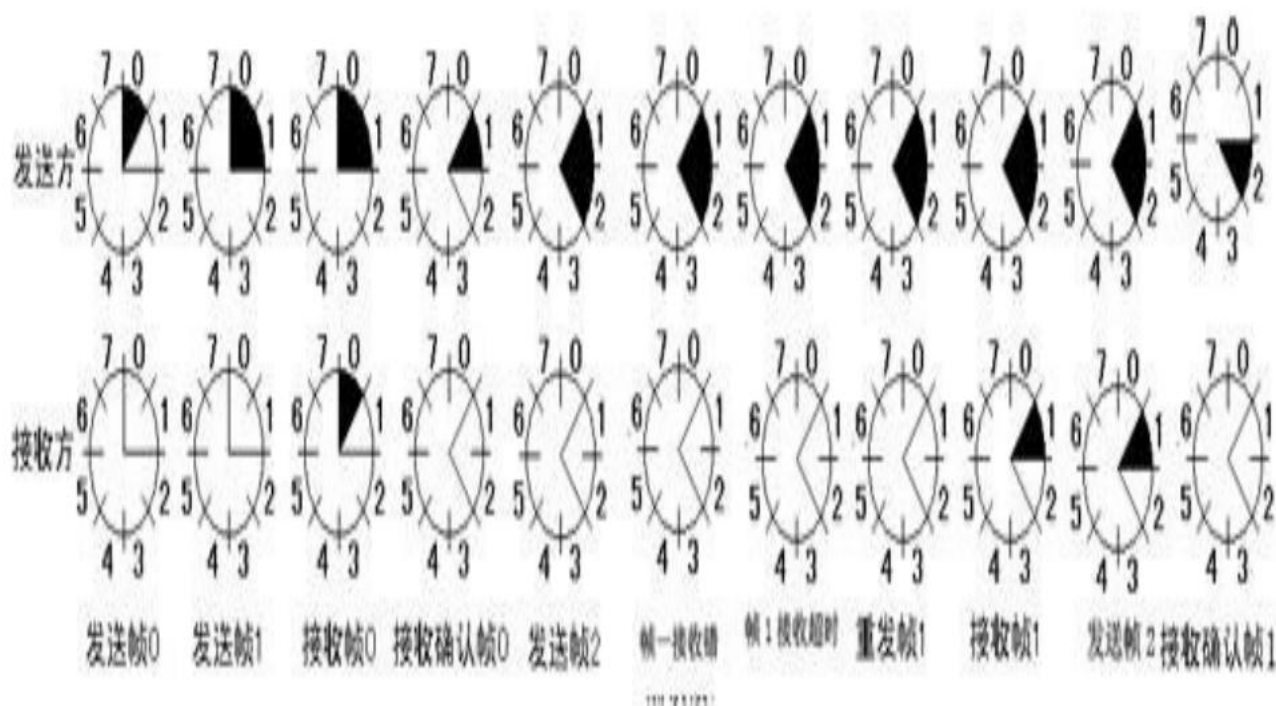
5 题

解答： 发送方还可发送 3 帧

可发 4、5、6 号

6 题。若窗口序号位数为 3, 发送窗口尺寸为 2, 采用 GO-BACK-N 法, 请画出由初始态出发相继下列事件发生时的发送及接收窗口图. 发送帧 0, 发送帧 1, 接收帧 0, 接收确认帧 0, 发送帧 2, 帧 1 接收出错, 帧 1 确认超时, 重发帧 1, 接收帧 1, 发送帧 2, 接收确认帧 1.

发送帧 0, 发送帧 1, 接收帧 0, 接收确认帧 0, 发送帧 2, 帧 1 接收出错, 帧 1 确认超时, 重发帧 1, 接收帧 1, 发送帧 2, 接收确认帧 1.



7 题。 若 BSC 帧数据段中出现下列字符串：问字符填充后的输出是什么？

“A<DLE><STX>BC<DLE><DLE>DE<DLE><ETB>”

解答： 字符填充后的输出是：

“A<DLE><DLE><STX>BC<DLE><DLE><DLE><DLE>DE<DLE><DLE><ETB
>”

8 题

解答： 输出是： 01000001111101101011111010

9 题。 用 BSC 规程传输一批汉字，若已知采用不带报头的分块传输，而且最大报文块长为 129 字节，共传输了 5 帧，其中最后一块报文长为 101 字节。问每个报文最多能传多少汉字？这批数据报共有多少汉字？

解答： 分析

： 由 BSC 规程, 不带报头(以字符串格式)的分块传输的帧格式为：

SYN	SYN	STX	报文	ETB/ETX	BCC
-----	-----	-----	----	---------	-----

不带报头的分块传输是 5 个控制字符，开销 5 个字节， $(129 - 5) / 2 = 62$

故前 4 帧每帧最多能传的汉字数为：

$$(129 - 3(\text{SYN} + \text{SYN} + \text{STX}) - 2(\text{ETB} + \text{BCC})) / 2 = 62 (\text{个})$$

每个报文传 62 个汉字，前 4 帧传 248 个汉字

最后一帧 $(101 - 5) / 2 = 48$

该批数据共有的汉字数为：

$$62 \times 4 + (101 - 3(\text{SYN} + \text{SYN} + \text{STX}) - 2(\text{ETX} + \text{BCC})) / 2 = 296 (\text{个})$$

(2) 由 BSC 规程, 不带报头(以比特流格式)的分块传输的帧格式为：

SYN	SYN	DLE	STX	报文	DLE	ETB/ETX	BCC
-----	-----	-----	-----	----	-----	---------	-----

故前 4 帧每帧最多能传的汉字数为：

$$(129 - 4 - 3) / 2 = 61 (\text{个})$$

该批数据共有的汉字数为：

$$61 \times 4 + (101 - 4 - 3) / 2 = 291 (\text{个})$$

注：因假设采用单字节的块校验字符(非比特流)，故应取(1)的计算结果。

10 题： 用 HDLC 传输 12 个汉字时，帧中的信息字段占多少字节？

总的帧长占几字节？

解答：看 HDLC 帧格式 P87

信息字段(I)占 $12 \times 2 = 24$ 字节

总的帧长占 $1(F) + 1(A) + 1(C) + 24(I) + 2(FCS) + 1(F) = 30$ 字节

13 题

答：连续 5 个 1 去掉后面 0，所以该帧为

01101011111101001111111100111111，帧中不能出现超过 5 个一，

所以有错误

14 题

练习：1) 要发送的数据为 1011001001001011。采用 CRC 的生成多项式是 $G(x) = x^8 + x^2 + x + 1$ 100000111。试求应添加在数据后面的余数。

数据在传输过程中最后一个 1 变成了 0，问接收端能否发现？

若数据在传输过程中最后两个 1 都变成了 0，问接收端能否发现？

答：

添加的检验序列为 10010011 (101100100100101100000000 除以 100001011)，传输信息为 101100100100101110010011

数据在传输过程中最左一个 1 变成了 0，

001100100100101110010011 除以 100000111，余数为 11010001，不为 0，接收端可以发现差错。

第八章 局域网技术

公式一:ALOHA 性能 P159

- 1、稳定状态下，吞吐量与网络负载的关系 $S=GP$, P 是成功发送一个帧的概率
 S 是吞吐量，单位帧时内系统成功发送新产生数据帧的平均数量， $0 \leq S \leq 1$
 G 是网络负载，单位帧时内系统发送的所有数据帧的平均数量，包括成功和重发的帧，负载较大时 $G > S$, 负载较小时， G 约等于 S
- 2、纯 ALOHA, $2t$ 时间内只有一个帧发送的概率，即帧成功发送的概率 $P=e^{-2G}$
 $e=2.718281$
- 3、系统吞吐量 $S=G e^{-2G}$, $G=0.5$ 时, $S_{\max}=1/(2e)$ 约等于 0.184
- 4、时分 ALOHA, t 时间内只有一个数据帧的概率，即帧成功发送的概率 $P=e^{-G}$
- 3、系统吞吐量 $S=G e^{-G}$, $G=0.5$ 时, $S_{\max}=1/e$ 约等于 0.368

公式二时隙时间和最小帧长度公式 P164

- 1、时隙时间 $= 2S/0.7C + 2t_{\text{PHY}}$ S 是两节点最大间距 C 是光速 $0.7C$ 是电信号在介质上传输速率是个常量 光速是 30 万公里每秒，所以 $0.7C$ 约等于 200 米/微秒。 t_{PHY} 在物理层的处理延迟。因此争用时隙长度是网络上最大传播延迟的两倍
- 2、时隙时间 $= L_{\min}/R$ R 是传输速率 L_{\min} 是最小帧长度
- 3、最小帧长度 $= (2S/0.7C + 2t_{\text{PHY}}) * R$

公式三冲突检测时间和最小帧长度公式

- 1、基带总线，冲突检测时间是网络上任意两节点之间最大传播时延的两倍
- 2、宽带总线，冲突检测时间是网络上任意两节点之间最大传播时延的 4 倍
- 3、CSMA/CD 最小帧长度 $= 2S/200 * R$

公式四环的比特长度公式 P177

- 1、环的比特长度 $= \text{信号传播时延} * \text{数据传输速率} + \text{接口延迟位数} = \text{环路介质长度} * 5$
(微秒/公里) * 数据传输速率 + 接口延迟位数 5 (微秒/公里) 是信号传播速率 200 (米/微秒) 的倒数。1 比特长度 $= 1/200$ (米/微秒) $= 5$ (微秒/公里)

公式五传播延时和传输延时的关系

- 1、传播延时从一个节点开始发送数据到另一个节点开始接受数据所需时间，传播延时 (微秒) $= \text{两节点的距离 (米)} / \text{信号传播速率 (200 米/微秒)}$
- 2、传输延时指数据帧从一个节点开始发送到该数据帧发送完毕所需时间，传输延时 (秒) $= \text{数据帧长度 (比特)} / \text{数据传输速率 (bps)}$
- 3、传输延时至少是传播延时的两倍
- 4、数据帧从一个站点开始发送, 到该数据被另一个站点全部接收, 所需的总时间等于数据传输延时 + 信号传播延时

课后习题

5 题

一万个站点在竞争使用每一时分 ALOHA 通道。如果每个站平均每小时做 18 次请求。信道时隙是 125us。总的通道负载约为多少？

解答：

通道每小时时隙个数为 $3600 / (125 \times 10^{-6}) = 2.88 \times 10^7$ 。

每小时需发送的帧个数为 $10000 \times 18 = 1.8 \times 10^5$

要发送的帧数量远远小于时隙个数，所以通道负载为

1.8×10^5

6 题

N 个站点共享 56K 的纯 ALOHA 信道。每个站点平均每 100 秒输出一个 1000 bit 的帧，即使前一个帧还没有发送完也依旧进行（假设站点都有缓存）。N 的最大值是多少？

解答：对于纯 ALOHA，可用的带宽是 $0.184 \times 56\text{Kb/s} = 10304\text{b/s}$ ；

每个站都需要的带宽是 $1000 \div 100 = 10\text{b/s}$ 。

因此 $N = 10304 \div 10 \approx 1030$ 。

所以，最多可以有 1030 个站，即 N 的最大值是 1030。

7 题

答：见 P166

在二进制倒数计数法中，每个想要使用信道的站点首先将其地址以二进制位串的形式按照由高到低的顺序进行广播，并且假定所有地址的长度相同。为了避免冲突，必须进行仲裁：如果某站发现其地址中原本

为 0 的高位被置换为 1，那么它便放弃发送。对于次高位进行同样的信道竞争操作，直到最后只有一个站赢得信道为止。一个站点在赢得信道竞争后便可发送一帧，然后另一个信道竞争周期又将开始。

什么是 Mok 和 Ward 版本的二进制倒计数法。Mok 和 Ward 提出了二进制倒计数法的一个变种。该方法采用了并行接口而不是串行接口：还使用虚拟站号，在每次传输之后对站重新编号，从 0 开始，已成功传送的站被排在最后。如果总共有 N 个站，那么最大的虚拟站号是 N-1。

本题中，当 4 站发送时，它的号码变为 0，而 0、1、2 和 3 号站的号码都增 1，10 个站点的虚站号变为 8，3，0，5，2，7，4，6，9，1 当 3 站发送时，它的号码变为 0，而 0、1 和 2 站的号码都增 1，10 个站点的虚站号变为：8，0，1，5，3，7，4，6，9，2

最后，当 9 站发送时，它变成 0，所有其他站都增 1，结果是：9，1，2，6，4，8，5，7，0，3。

8 题。不做要求，可以不用管 P167

9 题。超纲不用管

10 题 标准 10MBPS802.3 LAN 的波特率是多少？

解答：

标准 10MBPS802.3 LAN 采用曼彻斯特编码 即 数据传输率只有调制速率的 1/2

$$R=1/2B$$

$$B=2*10\text{MBPS}=20 \text{ 波特}$$

11 题。一个 1km 长的 10Mb/s 的 CSMA/CD 局域网（不是 802.3），其传播速度等于每微秒 200 米。数据帧的长度是 256bit，其中包括用于帧头、检验和以及其他开销的 32bit。传输成功后的第一个时隙被留给接受方，用来捕获信道并发送一个 32bit 的确认帧。假定没有冲突发生，有效数据率（不包括开销）是多少？

解法 1: 仅以成功的发送与传播计算:

$$\text{发送数据帧 256 位所需时间} = 256\text{bit}/10\text{Mbps} = 25.6\mu\text{s}$$

$$\text{数据帧在信道上的传播时间} = 1000\text{m}/(200\text{m}/\mu\text{s}) = 5\mu\text{s}$$

$$\text{共用时间} = 25.6\mu\text{s} + 5\mu\text{s} = 30.6\mu\text{s}$$

$$\text{故有效数据传输速率为: } (256-32)\text{b}/30.6\mu\text{s} = 7.3\text{Mbps}$$

解法 2: 从发送至接收确认全程计算（依题意是这种计法）:

$$1) \text{ 发送数据帧 256 位所需时间} = 256\text{bit}/10\text{Mbps} = 25.6\mu\text{s}$$

$$\text{数据帧在信道上的传播时间} = 1000\text{m}/(200\text{m}/\mu\text{s}) = 5\mu\text{s}$$

$$\text{共用时间} = 25.6\mu\text{s} + 5\mu\text{s} = 30.6\mu\text{s}$$

$$2) \text{ 回发确认帧 32 位所需时间} = 32\text{bit}/10\text{Mbps} = 3.2\mu\text{s}$$

$$\text{确认帧在信道上的传播时间} = 1000\text{m}/(200\text{m}/\mu\text{s}) = 5\mu\text{s}$$

$$\text{共用时间} = 3.2\mu\text{s} + 5\mu\text{s} = 8.2\mu\text{s}$$

$$\text{故有效数据传输速率为: } (256-32)\text{b} / (30.6+8.2)\mu\text{s} = 5.77\text{Mbps}$$

14 题。长 1Km、10Mbps 的基带总线 LAN, 信号传播速度为 $200\text{M}/\mu\text{s}$, 试计算:

- ① 1000 比特的帧从发送开始到接收结束的最大时间是多少?
- ② 若两相距最远的站点在同一时刻发送数据, 则经过多长时间两站发现冲突?

解答:

(1) 两站点从发送开始到接收结束的总时间 = 数据传输时延 + 信号传播时延

$$= 1000\text{bit} / 10\text{Mbps} + 1000\text{m} / 200\text{m}/\mu\text{s} = 100\mu\text{s} + 5\mu\text{s} = 105\mu\text{s}$$

(2) 同时发送数据的两站点发现冲突的时间 = 信号传播时延

$$= 1000\text{m} / 200\text{m}/\mu\text{s} = 5\mu\text{s}$$

(注: 若非同时发送数据, 两站点发现冲突的最大时间 = $2 \times$ 信号传播时延)

练习: 某 CSMA/CD 基带总线网长度为 1000m, 信号传播速度为 $200\text{m}/\mu\text{s}$, 假如位于总线两端的站点在发送数据帧时发生了冲突, 试问:

- ① 该两站间信号传播延迟时间是多少?
- ② 最多经过多长时间才能检测到冲突?

【解析】①该两站间时延 $a = 1000\text{m} / 200 (\text{m}/\mu\text{S}) = 5\mu\text{S}$

②冲突检测时间 $= 2a = 2 \times 5\mu\text{s} = 10\mu\text{s}$

【答案】① $5\mu\text{s}$ ② $10\mu\text{s}$

15 题。100 个站点的令牌环，任意两站间的平均距离为 10m, 数据传输速率为 10Mbps, 信号传播速度为 200m/us, 若每个站引入 1 位延迟, 试计算:

(1)两站间链路的位长度为多少位?

(2)整个环路的有效位长度为多少位?

(3)此环上最多允许有几个 37 位长的时槽?

解答：见 P177 公式

环的比特长度=信号传播时延*数据传输速率+接口延迟位数

(1)两站间链路的位长度为： $10\text{m} / 200\text{m}/\mu\text{s} * 10\text{Mbps} = 0.5\text{bit}$ (不计 1 位延迟)

(2)总环路的有效位长度为： $100(0.5\text{bit} + 1\text{bit}) = 150\text{bit}$

(3)时槽数为： $150\text{bit} / 37\text{bit}$ 约等于 4.07=5(个)

16 题。当数据传输速率为 5Mbps, 传播速度为 200m/us 时，令牌环接口中的一个比特时延等价于多少米的电缆？

解答：在 5Mbps 数据传输速率下，一个位时等于 0.2 微秒 ($=1/5$),

在 0.2 微 s 时间内信号可以传播的距离 $= 0.2 * 200 = 40$ 米

因此：一个比特时延等价于 **40** 米的电缆。

17 题。长 1Km、10Mbps、50 个站点的令牌环，每个站引入 1 位延迟，信号传播速度为 200m/us, 令牌长 8 位，数据帧最大长度为 256（包括 32 位开销），确认在数据帧捎带，问该环不包括开销的有效数据速率为多少？

分析：站点在令牌环上一个完整的工作周期如下：

① 获取令牌

② 发送数据帧：把数据帧发送到环上；（传输时延）

③ 数据帧绕环一周：绕环线一周；（传播时延）

经过每个站点有 1 位时延。（传输时延）

④ 发送令牌帧：把令牌帧发送到环上；（传输时延）

解：1) 获取令牌传输时延为： $8\text{bit}/10\text{Mbps}=0.8\mu\text{s}$

2) 发送数据帧传输时延为： $256\text{bit}/10\text{Mbps}=25.6\mu\text{s}$

3) 信号绕环一周传播时延为： $1000\text{m}/200\text{m}/\mu\text{s}=5\mu\text{s}$

4) 50 站点 1 位传输时延为： $50 * 1\text{bit}/10\text{Mbps}=5\mu\text{s}$

5) 发送令牌帧传输时延为： $8\text{bit}/10\text{Mbps}=0.8\mu\text{s}$

所需总时间为: $(0.8 + 25.6 + 5 + 5 + 0.8) \mu s = 37.2 \mu s$

该环不包括开销的有效数据传输速率为:

$$(256 - 32) \text{ bit} / 37.2 \mu s = 6.1 \text{ Mbps}$$

18 题。长 10Km、16Mbps、100 个站点的令牌环，每个站引入 1 位延迟，信号传播速度为 200m/ μs 。问: (1)该环上 1 位的延迟相当于多少米长度的电缆? (2)该环的有效位长度为多少位?

解法 1: (1)令牌环的比特长度为: $10 \text{ Km} * 5 \mu s / \text{Km} * 16 \text{ Mbps} + 100 \text{ bit} = 900 \text{ bit}$

故该环上 1 位的延迟相当于电缆的长度为: $1 \text{ bit} * 10 \text{ Km} / 900 \text{ bit} = 11 \text{ m}$

(2)该环的有效位长度为: $10 \text{ Km} * 5 \mu s / \text{Km} * 16 \text{ Mbps} = 800 \text{ bit}$ (不计 1 位延迟)

19 题。长 1Km、4Mbps、50 个站点的令牌环，每个站引入 1 位延迟，信号传播速度为 200m/ μs ，设数据帧最大长度为 100 字节。问该环上检查令牌丢失的超时计数器的值至少要设置为多少微秒?

解答: (1)1Km 令牌环传播时延为: $1000 \text{ m} / 200 \text{ m} / \mu s = 5 \mu s$

(2)50 个站点 1 位时延为: $50 * 1 \text{ bit} / 4 \text{ Mbps} = 12.5 \mu s$

(3)发送最长数据帧的时延为: $100 * 8 \text{ bit} / 4 \text{ Mbps} = 200 \mu s$

故超时计数器的值至少要设置为： $5+12.5+200=217.5(\mu s)$

（这里忽略了令牌的发送时间）。

20 题。

令牌环中的数据帧的长度没有下限，但其上限受站点令牌持有时间的限制。数据帧必须在时间限制内发送完，超过令牌持有时间，必须释放令牌。

可发送的最长帧位数 = 传输速率 \times 令牌的持有时间 = $10\text{Mbps} \times 10\mu s = 100$ 位