



4 典型问题解答

例1:奈奎斯特定理计算

若有一四相调制解调器，单位脉冲(码元)宽度
 $T = 833 * 10^{-6}$ 秒，一个码元能运载2位二进制信息，
求其数据传输速率和码元速率。

解： $N = 2^2 = 4$

$$B = 1/T = 1/833 * 10^{-6} = 1200 \quad \text{Baud}$$

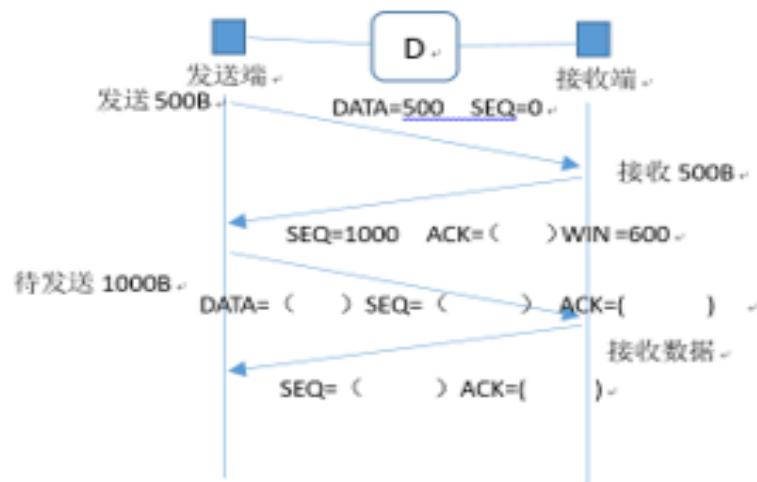
$$S = B * \log_2 N = 2400 \text{ bps}$$

4 典型问题解答

例2:TCP数据收发过程

下图为两主机通过 TCP 协议交互的过程。

- (1) 请根据下图中标注出的信息和交互过程，完成所有括号部分的内容填写。
- (2) 假如网络中的某个装置 D 对经过的数据报中 WIN 字段数值进行更改，那么它还需要修改其它哪个字段才能保证这个报文段可以正常被接收？
- (3) 以上修改会导致接收报文段的一方做出什么反应？





4 典型问题解答

例3：奈奎斯特定理计算

有一带宽为3KHz的理想低通信道，求其最高码元速率。
若一个码元能运载3位二进制信息，求其信道容量。

解： $N = 2^3 = 8$

$$B = 2W = 2 * 3000 = 6000 \text{ Baud}$$

$$C = 2W * \log_2 N = 2 * 3 * \log_2 8 = 18000 \text{ bps}$$



4 典型问题解答

例4：香农定理计算

求信噪比为30分贝，带宽为4KHZ的信道的最大数据速率(信道容量)

解： $(S/N)_{db}: 10 * \log_{10} (S/N) = 30 \text{ db}$

$$S/N = 10^{30/10} = 10^3$$

$$\begin{aligned} C &= W * \log_2 (1 + S / N) \\ &= 4 * \log_2 (1 + 10^3) \\ &= 4 * \log (1 + 10^3) / \log 2 \\ &= 4 * 3 / 0.3010 \approx 40 \text{ K bps} \end{aligned}$$



4 典型问题解答

例5:时延计算

试在下列条件下比较电路交换和分组交换。要传送的报文共 x (bit)。从源站到目的站共经过 K 段链路，每段链路的传播时延为 d (s), 数据率为 b (bps)。

- (1) 在电路交换时电路的建立时间为 s (s)
- (2) 在分组交换时分组长度为 p (bit)，且各结点的排队等待时间可忽略不计。

问在怎样的条件下，分组交换的时延比电路交换的要小？



4 典型问题解答

时延计算解答:

传播时延 = 信道长度 / 电磁波在信道上的传播速度;

发送时延 = 数据块长度 / 信道带宽;

总时延 = 传播时延 + 发送时延 + 排队时延;

(1) 电路交换:

$t=s$ 时电路建立起来;

$t=s+x/b$ 时报文的最后1位发送完毕;

$t=s+x/b+kd$ 时报文到达目的地。

4 典型问题解答

(2) 分组交换:

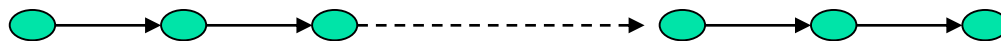
1) 最后1位在 $t=x/b$ 时发送完毕。

2) 到达最终目的地时, 每个分组必须被中间的路由器重发 $k-1$ 次, 每次重发花时间 p/b (一个分组的所有比特都接收齐了, 才能开始重发)

最后1个分组的重发时间为: $(k-1)p/b$

其余分组重发对总时延没有影响

所以总的延迟为 $x/b + (k-1)p/b + kd$.



为了使分组交换比电路交换快, 令

$$\frac{x}{b} + (k-1)\frac{p}{b} + kd < s + \frac{x}{b} + kd$$

$$\therefore s > (k-1)\frac{p}{b}$$



4 典型问题解答

例6：时延计算

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 $2 \times 10^8 \text{m/s}$ 。试计算以下两种情况的发送时延和传播时延：

(1) 数据长度为 10^7bit ，数据发送率为 100kb/s

(2) 数据长度为 10^3bit ，数据发送率为 1Mb/s 。

从以上计算结果可得出什么结论？



4 典型问题解答

例6解答:

$$\begin{aligned} (1) \text{发送时延} &= \text{数据块长度} / \text{信道带宽} \\ &= 10^7 / (100 * 10^3) = 100\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{传播时延} &= \text{信道长度} / \text{电磁波在信道上的传播速率} \\ &= (1000 * 10^3) / (2 * 10^8) = 5\text{ms} \end{aligned}$$

$$(2) \text{发送时延} = 10^3 / (1 * 10^6) = 1 \mu\text{s}$$

$$\text{传播时延} = (1000 * 10^3) / (2 * 10^8) = 5\text{ms}$$

由以上结果可得:

- 若数据长度大而发送率低, 则在总的时延里, 发送时延往往大于传播时延
- 若数据长度短而发送速率高, 则传播时延又可能是总时延中的主要成分



4 典型问题解答

例7：传输效率计算

长度为100字节的应用层数据交给运输层传送，需要加上20字节的TCP首部，再交给网络层传送还需加上20字节的IP首部，最后交给数据链路层的以太网传送，加上首部和尾部共18字节。试求数据的传输效率。

若应用层的数据长度为1000字节，则数据的传输效率为多少？



4 典型问题解答

例7解答:

(1) 长度为100字节

$$\begin{aligned}\text{传输效率} &= \text{数据有效长度} / \text{数据总长度} \\ &= 100 / (100 + 20 + 20 + 18) \\ &= 63.3\%\end{aligned}$$

(2) 长度为1000字节

$$\begin{aligned}\text{传输效率} &= 1000 / (1000 + 20 + 20 + 18) \\ &= 94.5\%\end{aligned}$$



其他传输效率计算

- 传输的有效性计算：
 - (1) 有效传输效率
 - (2) 有效传输速率
 - (3) 信道利用率
- (1) 停止等待协议
 - (2) **ARQ**协议
 - (3) 以太网协议、**TCP/IP**协议



4 典型问题解答

例8: ARQ协议相关计算

卫星信道的数据率为1Mb/s，取卫星信道的单程传播时延为0.25秒。数据帧长为2000bit，忽略误码率、确认帧长和处理时间。试计算下列情况下的信道利用率：

- (1) 停止等待协议。
- (2) 连续ARQ协议， $WT=7$
- (3) 连续ARQ协议， $WT=127$
- (4) 连续ARQ协议， $WT=255$



4 典型问题解答

解答:

每个数据帧的发送时间:

$2000\text{bit} / (1\text{Mb/s}) = 2\text{ms}$. 所以 $t = 2\text{ms}$, 一帧发送完毕.

发送方发完一帧后收到确认的时间 (忽略误码率, 确认帧和处理时间)

$$t_T = 250\text{ms} + 2\text{ms} + 250\text{ms} = 502\text{ms}$$

因此, 两个发送成功的数据帧之间的最小时间间隔 (即周期) 为 502ms .

如果在 502ms 内可以发送 k 个帧 (每个帧的发送用 2ms 时间), 则信道利用率是 $2k/502$.



4 典型问题解答

解答:

1) 停止等待协议时, 数据帧逐个发送, 因此

$$U = 2\text{ms} / 502\text{ms} = 1/251$$

2) 连续ARQ协议, 发送窗口为7, 因此

$$U = 2 * 7\text{ms} / 502\text{ms} = 7/251;$$

3) 连续ARQ协议, 发送窗口为127, 因此

$$U = 2 * 127\text{ms} / 502\text{ms} = 127/251;$$

4) 连续ARQ协议, 发送窗口为

$$255, U = 2 * 255\text{ms} / 502\text{ms} = 255/251 > 1,$$

由于信道利用率必须要小于等于1, 因此, $U = 1$.



4 典型问题解答

例9:Ethernet冲突与重传计算

以太网上只有两个站，它们同时发送数据，产生了碰撞。于是按二进制指数类型退避算法进行重传。

重传次数记为 i ， $i=1, 2, 3, \dots$ 。试计算第1次重传失败的概率、第2次重传失败的概率、第3次重传失败的概率，以及一个站成功发送数据之前的平均重传次数 I 。

4 典型问题解答

解答：退避策略

- 1) 基本退避时间设为争用期 $T_0 = 2\tau$
- 2) 退避时间与重传次数 n 有关: $T = rT_0$
- 3) $0 \leq r \leq 2^k - 1$, $K = \min(n, 10)$, n 为重传次数
- 4) 当重传达16次仍不成功, 则丢弃该帧, 报告上层

第 i 次重传失败概率: 第 i 次重传时发生冲突

A: (0, 1, 2, ... m-1) B: (0, 1, 2, ..., m-1)

冲突概率 $= m/m^2 = 1/m$ ($m = 2^{k-1}$, k 为重传次数, $k = i$)
 $= 0.5^{k-1}$

冲突概率就是重传失败概率



4 典型问题解答

显然：

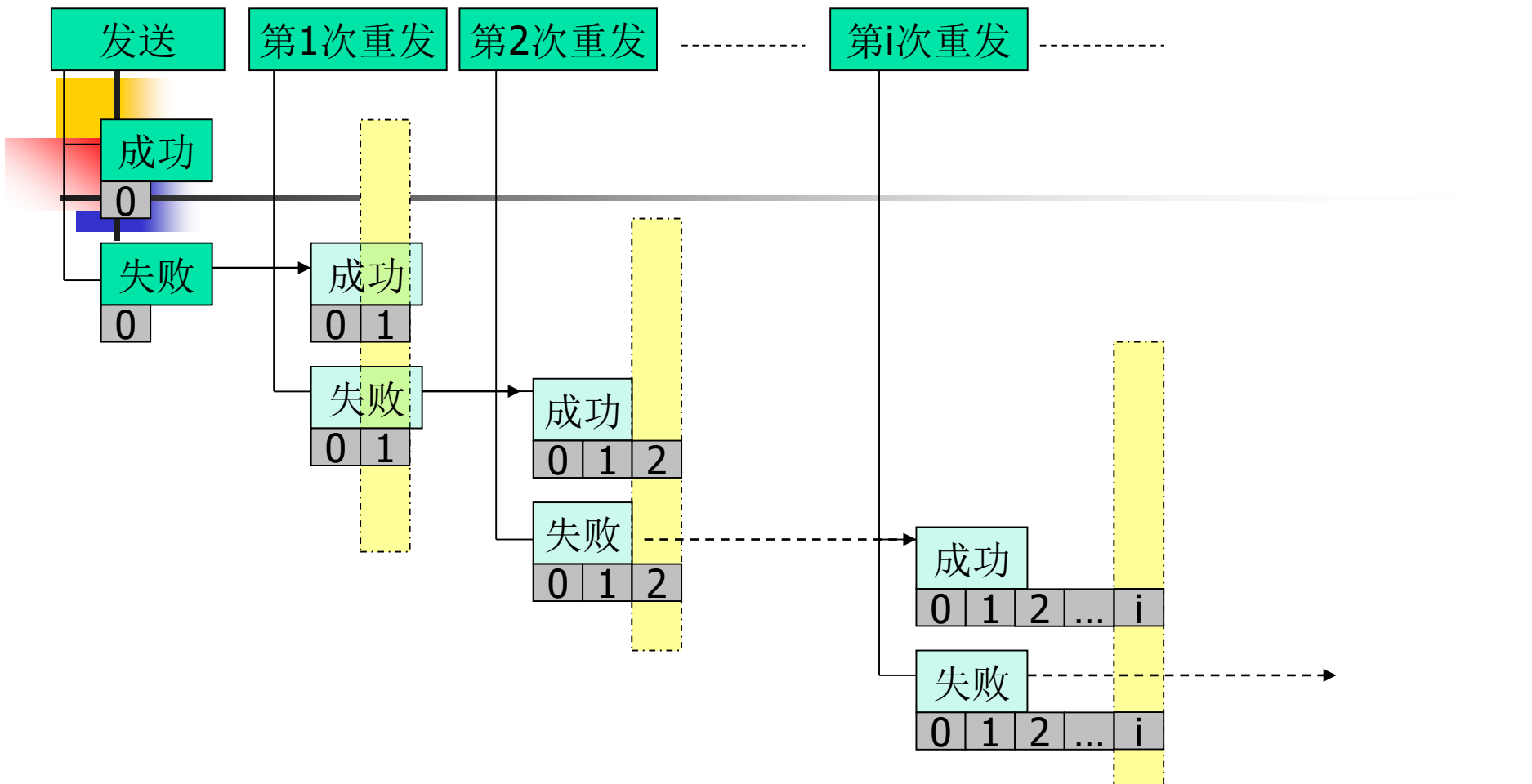
第1次重传失败的概率为0.5；

第2次重传失败的概率为0.25；

第3次重传失败的概率为0.125。

平均重传次数

$$I=1.642 \quad (1.637)$$



在第*i-1*次重发失败的情况下，第*i*次重发报文经过若干次以后一定会成功发送

第*i*次重发次数的数学期望是： $(0.5)^1(0.5)^2...(0.5)^{i-1}=(0.5)^{i(i-1)/2}$

重发次数= $(0.5)^0+(0.5)^1+(0.5)^3+(0.5)^6+(0.5)^{10}$

$=1+0.5+0.125+0.0156+0.001=1.642$

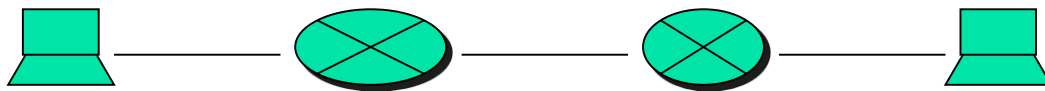
4 典型问题解答

例10：广域网相关计算

一个数据包分组交换网允许各结点在必要时将收到的分组丢弃。设结点丢弃一个分组的概率为 p 。

现有一个主机经过两个网络结点与另一个主机以数据报方式通信，因此两个主机之间要经过三段链路。当传送数据报时，只要任何一个结点丢弃分组，则源点主机最终将重传此分组。试问：

- (1) 每一个分组在一次传输过程中平均经过几段链路？
- (2) 每一个分组平均要传送几次？
- (3) 目的主机每收到一个分组，连同该分组在传输时被丢弃的传输，平均需要经过几段链路？





4 典型问题解答

解答：（1）从源主机发送的每个分组可能走

1段链路（主机-结点） ， 其概率为 p

2段链路（主机-结点-结点）或 ， 其概率为 $(1-p)p$

3段链路（主机-结点-结点-主机）。其概率为 $(1-p)^2$

一个分组平均通路长度的期望值是这3个概率的加权和，即等于

$$L=1*p+2*p(1-p)+3*(1-p)^2= p^2-3p+3$$

注意，当 $p=0$ 时， 平均经过3段链路；

当 $p=1$ 时， 平均经过1段链路；

当 $0<p<1$ 时，平均经过的链路在1~3之间。可能需要多次发送

4 典型问题解答

- 2) 一次传送成功的概率= $(1-p)^2$, 令 $\alpha = (1-p)^2$,
两次传送成功的概率= $(1-\alpha)\alpha$,
三次传送成功的概率= $(1-\alpha)^2\alpha$,

.....
因此每个分组平均传送次数

$$T = \alpha + 2\alpha(1-\alpha) + 3\alpha(1-\alpha)^2 + \dots$$
$$= [\alpha / (1-\alpha)] [(1-\alpha) + 2(1-\alpha)^2 + 3(1-\alpha)^3 + \dots]$$

因为 $\sum_{k=1}^{\infty} kq^k = q/(1-q)^2$

$$\text{所以 } T = [\alpha / (1-\alpha)] * (1-\alpha) / [1 - (1-\alpha)]^2$$
$$= 1/\alpha = 1/(1-p)^2$$

- 3) 每个接收到的分组平均经过的链路数

$$H = L * T = (p^2 - 3p + 3) / (1-p)^2。$$



4 典型问题解答

例11: CSMA/CD最短帧长计算举例

(1) 基本原理

1) 单程信号传播时延: $\tau = L/v$

式中: L —链路长(米), v —信号传播速度

2) 冲突检测时间: $t = 2\tau = 2L/v$

3) 一个帧的发送时间: $t = L_f/c$

式中: L_f —帧长, c —数据速率

4) 最小帧长: $L_{fmin} = 2\tau c = 2(L/v) * c$



4 典型问题解答

(2) 实例:

若10Mbps的CSMA/CD总线网结点间最大距离为2.5km, 信号在电缆中的传播速度为 2×10^8 m/s, 求该网的最小帧长 L_{fmin}

解: $c = 10\text{Mbps} = 10 \times 10^6 \text{ b/s}$, $L = 2500\text{m}$

$$V = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$L_{\text{fmin}} = 2 * (L/v) * c$$

$$= 2 * 2500\text{m} / (2 \times 10^8 \text{ m/s}) * 10 \times 10^6 \text{ b/s}$$

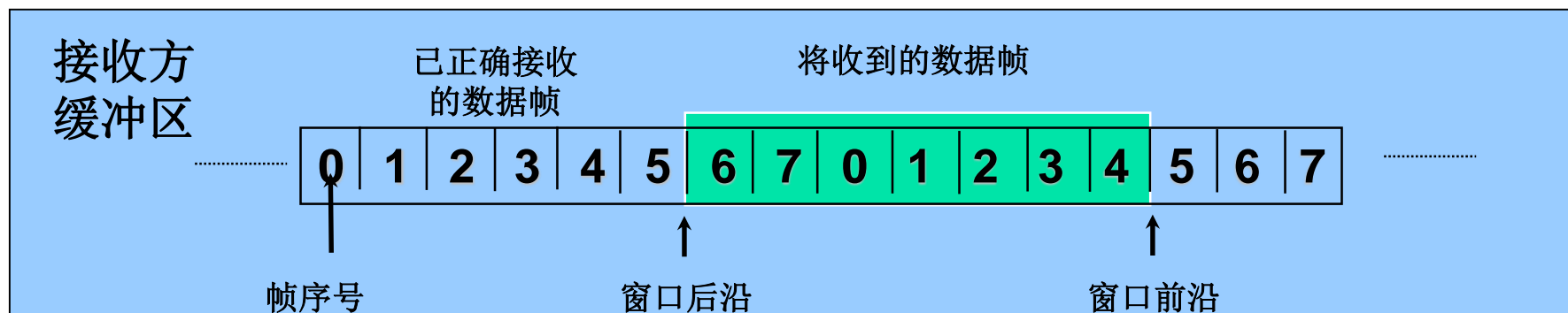
$$= 250 \text{ bit}$$

4 典型问题解答

例12：滑动窗口协议中，发送窗口与接收窗口的大小满足：

$$W_T + W_R \leq 2^n \quad (n \text{ 为序号的位数})$$

原因何在？





4 典型问题解答

滑动窗口能够正常工作的前提：

不管因为何种原因重发的报文不能是接收方想要接收的报文，必须是接收方已经接收过的数据。否则，接收方就会不能辨别重复的报文，从而导致传输错误。也就是说，发送方发送窗口中的报文编号不能和接收端接窗口中的报文编号重复。如果报文编号无限制，则接收窗口的大小就没有限制。反之，如果报文编号有限制，采用可重用编号模式（位数为 n ）：两个窗口的大小显然不能大于 2^n 。

$$W_T + W_R \leq 2^n \quad (n \text{ 为序号的位数})$$



4 典型问题解答

对连续ARQ而言：

1) $W_r=1$

2) $W_r>1$ ：无意义。

原因在于：不管接收端缓存了多少帧，一旦某帧出错，都要从出错帧重传。缓存已没有任何意义。



4 典型问题解答

例13：IP分片

一个数据报长度为4000字节（固定首部长度）。现经过一个网络传送，但此网络能够传送的最大数据长度为1500字节（Ethernet）。试问应该划分为几个短些的数据报片？各数据报片的数据字段长度、偏移字段和MF标志应为何数值？

解答：3片。

数据字段长度分别为1480，1480和1020字节。

片偏移字段的值分别为0，185和370。

MF字段的值分别为1，1和0。



4 典型问题解答

例14: TCP的拥塞控制

设TCP的ssthresh的初始值是8（单位为报文段）。当拥塞窗口上升到12时网络发生了超时，TCP使用慢开始和拥塞避免。试分别求出第一次到第15次传输的各拥塞窗口大小。

解答：

初始时：cwind=1

第01轮传输(前)：cwind=1, ssthresh=8

第02轮传输(前)：cwind=2, ssthresh=8

第03轮传输(前)：cwind=4, ssthresh=8

第04轮传输(前)：cwind=8, ssthresh=8

第05轮传输(前)：cwind=9, ssthresh=8



4 典型问题解答

第06轮传输(前): cwind=10, ssthresh=8

第07轮传输(前): cwind=11, ssthresh=8

第08轮传输(前): cwind=12, ssthresh=8; 传输后发现拥塞

第09轮传输(前): cwind=1, ssthresh=6

第10轮传输(前): cwind=2, ssthresh=6

第11轮传输(前): cwind=4, ssthresh=6 (cwind大于了8)

第12轮传输(前): cwind=6, ssthresh=6

第13轮传输(前): cwind=7, ssthresh=6

第14轮传输(前): cwind=8, ssthresh=6

第15轮传输(前): cwind=9, ssthresh=6

拥塞窗口分别为: 1, 2, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9.

4 典型问题解答

例15：链路层协议设计题

设计一个用于共享线路的数据链路层协议。要求采用面向连接的单工传输模式，有帧可靠性保证机制。请给出你所设计的数据链路层协议中的如下内容：

- (1) 协议的帧结构，包括字段组成、字段长度或长度范围。
- (2) 解释每个字段的含义和可能的取值；
- (3) 给出面向连接的数据传输典型过程（不考虑差错情况）

解答：

(1) 帧结构如下：(5 分)

目的地址	源地址	控制字段	序号	数据长度	数据字段	校验和
6 字节	6 字节	1 字节	1 字节	2 字节	0-4000 字节	2 字节

(2) 各字段含义：(5 分)

目的地址：目的站的 MAC 地址

源地址：源站的 MAC 地址

控制字段：用于表示当前帧的类型，分别是：1-数据帧；2-请求发送；3-同意接收；

4-数据正确接收；5-数据帧错误；6-发送结束；其余-保留

序号：0-255，每次连接从 0 开始，控制帧需要不变，数据帧序号循环累加

帧数据长度：实际数据字段字节数，有效值为 0-4000

校验和：对整个帧的 CRC 校验