

第三章 数据链路层

6. 需要在数据链路层上被发送一个比特串：011110111110111110。试问，经过比特填充之后实际被发送出去的是什么？

答：每 5 个 1 添加一个 0，所以实际被发送出去的是 011110111110011111010。

9. 假设使用海明码来传输 16 位的报文。试问，需要多少个校验位才能确保接收方能同时检测并纠正单个比特错误？对于报文 1101001100110101，试给出传输的比特模式。假设在海明码中使用了偶校验。

答：设数据位为 k 位，校验位为 r 位，若欲纠正单比特错误，则海明码校验位的位数应满足：

$$(k + r + 1) \leq 2^r$$

在此问题中， $k=16$ ，最小的 $r=5$ ，在位置 1、2、4、8 和 16 处需要有奇偶校验位，所以不超过位 31 的报文都适合。因此，5 个奇偶校验位就足够了。

信息位	位序号	位序号展开	影响的纠错位
A16	21	16+4+1	P5、P3、P1
A15	20	16+4	P5、P3
A14	19	16+2+1	P5、P2、P1
A13	18	16+2	P5、P2
A12	17	16+1	P5、P1
A11	15	8+4+2+1	P4、P3、P2、P1
A10	14	8+4+2	P4、P3、P2
A9	13	8+4+1	P4、P3、P1
A8	12	8+4	P4、P3
A7	11	8+2+1	P4、P2、P1
A6	10	8+2	P4、P2
A5	9	8+1	P4、P1
A4	7	4+2+1	P3、P2、P1
A3	6	4+2	P3、P2
A2	5	4+1	P3、P1
A1	3	2+1	P2、P1

$$P1 = A16 \oplus A14 \oplus A12 \oplus A11 \oplus A9 \oplus A7 \oplus A5 \oplus A4 \oplus A2 \oplus A1 = 0$$

$$P2 = A14 \oplus A13 \oplus A11 \oplus A10 \oplus A7 \oplus A6 \oplus A4 \oplus A3 \oplus A1 = 1$$

$$P3 = A16 \oplus A15 \oplus A11 \oplus A10 \oplus A9 \oplus A8 \oplus A4 \oplus A3 \oplus A2 = 1$$

$$P4 = A11 \oplus A10 \oplus A9 \oplus A8 \oplus A7 \oplus A6 \oplus A5 = 0$$

$$P5 = A16 \oplus A15 \oplus A14 \oplus A13 \oplus A12 = 1$$

最终的序列为:

21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
A1	A1	A1	A1	A1	P	A1	A1	A	A	A	A	A	P	A	A	A	P	A	P	P
6	5	4	3	2	5	1	0	9	8	7	6	5	4	4	3	2	3	1	2	1
1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0

17. 使用本章介绍的标准 CRC 方法传输比特流 10011101。生成多项式为 $x^3 + 1$ 。试问实际传输的位串是什么？假设左边开始的第三个比特在传输过程中变反了。请说明这个错误可以在接受方被检测出来。给出一个该比特流传输错误的实例，使得接受方无法检测出该错误。

答：传输的比特流是 10011101。CRC 生成器是 1001。加三个 0 后的信息是 10011101000。10011101000 除以 1001 后的余数是 100，所以实际传输的位串是 10011101100。

接收到的比特流，左边第三位有错误，是 10111101100。将其除以 1001 会产生一个余数 100，这与 0 不同。

因此，接收者检测到了错误，可以要求重传。

如果传输的比特流被转换为 1001 的任何倍数，则错误将不被检测到。一个使得接收方无法检测出错误的例子是，把比特流中所有的 1 都置为 0，也就是：01100010011。

20. 考虑一个具有 4kbps 速率和 20 毫秒传输延迟的信道。试问帧的大小在什么范围内，停-等式协议才能获得至少 50% 的效率？

答：在停-等式协议中，默认处理时间和确认帧发送时间远小于传播时延，所以，当传输帧所需时间等于往返传播延迟时，效率将达到 50%。

在 4kbps 的传输效率下，40ms 可以传输 160bits，因此对于 160 位以上的帧大小，停止和等待是合理的效率。

32. 利用地球同步卫星在一个 1Mbps 的信道上发送长度为 1000 位的帧，该信道的传播延迟为 270 毫秒。确定总是被捎带在数据帧中。帧头非常短，序号使用了 3 位。试问，在下面的协议中，可获得的最大信道利用率是多少？

(1) 停等式？

(2) 协议 5？

(6) 协议 6？

答：传播时延为 T_p ，处理时延为 T_{pr} ，确认帧发送时间为 T_a ，数据帧发送时间为 T_f 。

两个发送成功的数据帧之间最小的时间间隔 $TT = T_f + T_{out} = T_f + 2T_p$ 。

本题目中 $T_f = 1000\text{bits} / 1\text{Mbps} = 1\text{ms}$ ， $T_p = 270\text{ms}$ ，因此最小时间间隔 $TT = 542\text{ms}$ 。即让 $t = 0$ 表示传输的开始。在 $t = 1$ 毫秒时，第一帧已经完全传输完毕。在 $t = 271$ 毫秒时，第一帧已经完全到达。在 $t = 272$ 毫秒时，第一个确认帧已全部发送完毕。在 $t = 542$ 毫秒，确认承载帧已完全到达。因此：周期为 542 毫秒。

(a) 在停-等式传输中，一个周期内仅能传输 1 帧，最大信道利用效率 $= 1/542 = 0.18\%$ 。

(b) 协议 5 中，发送窗口最大为 7，一个周期内最多传输 7 帧，最大信道利用效率 $= 7/542 = 1.29\%$ 。

(c) 协议 6 中，接收窗口最大为 4，一个周期内最多能传输 4 帧，最大信道利用效率 $=4/542=0.74\%$ 。

34. 考虑一个在无错的 64kbps 卫星信道上单向发送 512 字节长的数据帧，来自另一个方向反馈的确认帧非常短。对于窗口大小为 1、7、15 和 127 的情形，试问最大的吞吐量分别是多少？从地球到卫星的传播时间为 270 毫秒。

答：当窗口大小为 1 时，传输时间 $t=512*8\text{bits}/64\text{kbps}=64\text{ms}$ 时，传输数据需要 64ms。传播数据需要 270ms，当 $t=0$ 时开始传输数据，当 $t=334\text{ms}$ 是最后一位数据到达卫星。并发送一条很短的 ACK。在 $t=604$ 毫秒，ACK 到达地球。因此在 604ms 内传输了 4096bits 数据。吞吐量为 6781bps。

在窗口大小为 7 帧的情况下，整个窗口的传输时间为 $7*64=448$ 毫秒，此时发送者必须停止。在 604 毫秒时，第一个 ACK 到达，循环可以重新开始。因此在 604ms 内传输了 $7*4096\text{bits}$ 数据。吞吐量为 47470bps。

当窗口大小为 15 帧和 127 帧时，第一帧的 ACK 在 $t=604\text{ms}$ 时被传回，此时发射机仍旧在发信号，可以持续发送，因此此时的传输速度为 64kbps。

37. 试问，使用 PPP 发送一个 IP 数据包的最低开销是多少？如果只计算 PPP 自身引入的开销，而不计 IP 头开销，试问最大开销又是多少？

答：

最小开销：开销字节 $\times 5 =$ 标志字节 $\times 2 +$ 协议字节 $\times 1 +$ 校验字节 $\times 2$

最大开销：开销字节 $\times 10 =$ 标志字节 $\times 2 +$ 协议字节 $\times 2 +$ 校验字节 $\times 4 +$ 地址 $\times 1 +$ 控制 $\times 1$