

第 3 章

数据链路层

第一部分 同步练习

3.1 差错产生与差错控制方法

3-1-1 以下关于差错产生原因和差错类型的描述中,错误的是_____。

- A. 通信信道噪声是产生传输差错的主要原因
- B. 通信信道的噪声分为热噪声和冲击噪声
- C. 随机差错与突发差错构成了传输差错
- D. 冲击噪声会产生随机差错

3-1-2 以下关于误码率概念的描述中,错误的是_____。

- A. 误码率是指二进制比特在数据传输系统中被传错的概率
- B. 数值上近似等于被传错比特数与传输的二进制比特总数之比
- C. 误码率是衡量数据传输系统异常工作状态下传输可靠性的参数
- D. 被测量的传输二进制位数越大,才会越接近真正的误码率值

3-1-3 以下关于差错控制概念的描述中,错误的是_____。

- A. 自动检测出错误并进行纠正的方法称为差错控制方法
- B. 为每个传输分组加上一定的冗余信息,接收端可以发现传输差错但不能纠正
- C. 为每个传输分组加上足够多的冗余信息,以便接收端发现并自动纠正差错
- D. 纠错码比检错码简单,实现起来容易

3-1-4 以下关于循环冗余编码特点的描述中,错误的是_____。

- A. 生成多项式 $G(x)$ 可以随机生成
- B. CRC 校验码采用二进制的异或操作
- C. CRC 校验码能检查出离散错与突发错
- D. CRC 检错方法使用了双方预先约定的生成多项式 $G(x)$

3-1-5 如果发送数据比特序列为 11110011,生成多项式比特序列为 11001。请回答以下问题:

- (1) 计算 CRC 校验序列。
- (2) 给出发送方发送到接收方的比特序列。

3-1-6 如果发送的帧比特序列为 110...1000001010,生成多项式 $G(x)$ 的二进制比特序列长度为 11010010,那么在发送的帧比特序列中包含的 CRC 校验比特序列为多少?

3-1-7 以下关于反馈重发纠错 ARQ 概念的描述中,错误的是_____。

- A. ARQ 是指收发双方在发现帧传输错误时采用反馈重来纠正错误的方法
- B. 接收方通过校验码来判断数据传输中是否出错
- C. 发送方在发送帧时保留发送数据字段的副本
- D. 超过最大重发次数则停止发送,报告出错

3.2 数据链路层的基本概念

3-2-1 以下关于线路、链路、数据链路区别和联系描述中,错误的是_____。

- A. 双绞线、同轴电缆、光纤属于通信线路(circuit)
- B. 通信线路可以通过 ASK 方法分成多个信道(channel)
- C. 发送器、接收器与通信信道共同构成一条链路(link)
- D. 收发双方在数据链路设备之间构成一条数据链路(data link)

3-2-2 以下关于数据链路协议类型划分方法的描述中,错误的是_____。

- A. 数据链路层使用的链路有两类:点-点链路和广播链路
- B. 点-点链路协议可以分为面向字符与面向比特型协议
- C. 典型的局域网协议主要有 IEEE 802.3 协议、IEEE 802.11 协议
- D. 面向字符型协议主要有 PPP 协议

3-2-3 以下关于数据链路层功能的描述中,错误的是_____。

- A. 数据链路建立、维持和释放称为链路管理
- B. 帧同步的作用主要是保证双方收发比特同步
- C. “0 比特插入/删除”的作用是保证帧传输的透明性
- D. 差错控制使接收端能发现传输错误,并通过重传来纠正传输错误

3-2-4 以下关于数据链路层与网络层关系的描述中,错误的是_____。

- A. 数据链路层是 OSI 参考模型的第 2 层
- B. 数据链路层向网络层屏蔽帧结构的差异性
- C. 数据链路层使有差错的物理线路变为无差错的数据链路
- D. 数据链路层必须实现链路管理、帧传输、流量控制、差错控制等功能

3-2-5 以下关于面向字符型协议帧结构特点的描述中,错误的是_____。

- A. 数据链路层协议可以分为两类:面向字符型与面向比特型
- B. 面向字符型的协议通过定义一些标准字符来执行通信控制功能
- C. BSC 数据报用 SOH 字符表示正文的开始
- D. 控制字符不能在用户数据字段中出现的现象称为用户数据不能“透明”传输

3.3 面向比特型数据链路层协议——HDLC 协议

3-3-1 以下关于 HDLC 的帧结构的描述中,错误的是_____。

- A. HDLC 帧由标志、地址、控制、信息、帧校验与标志等字段组成
- B. 数据链路层的“帧”相当于 OSI 中的 DL-PDU

C. HDLC 帧在信息字段中采用“0 比特插入/删除方法”

D. 网络层提交给的数据放在 HDLC 帧信息字段中

3-3-2 以下关于 HDLC 协议基本配置方式的描述中,错误的是_____。

A. 数据链路配置分为非平衡配置与平衡配置

B. 非平衡配置可以用正常响应模式与异步响应模式

C. 在正常响应模式中,主站和从站可以随时相互传输数据帧

D. 平衡配置结构只有异步平衡模式

3-3-3 以下关于 HDLC 帧结构的描述中,错误的是_____。

A. HDLC 帧结构包括固定部分和可选部分

B. HDLC 帧结构包括标志字段 F、地址字段 A 与控制字段 C

C. 标志字段 F 为 011111110 特定的比特序列

D. 为了解决数据传输的透明性问题,HDLC 协议采用“0 比特插入/删除方法”

3-3-4 发送的二进制比特序列为 0110 1111 1111 1100,如果封装在 HDLC 的数据字段中,经过“0 比特插入”处理之后的二进制序列应该是什么?

3-3-5 接收 HDLC 的数据字段二进制比特序列为 0001 1101 1111 0111 1101 10,经过“0 比特删除”处理之后的二进制序列应该是什么?

3.4 数据链路层滑动窗口协议及帧传输效率分析

3-4-1 以下关于 ARQ 协议类型和特点的描述中,错误的是_____。

A. ARQ 实现方法有两种:单帧的停止等待方式和多帧的连续发送方式

B. 连续工作方式分为两种类型:拉回重发和选择重发纠错方式

C. 拉回重发纠错方式要求重发序号为 k 及以前的帧

D. 选择重发纠错方式只要求重传序号为 k 的帧

3-4-2 计算在无传输差错状态下执行 ARQ 停止-等待协议的效率。

条件:链路长度为 1000m,帧长度为 1000b。

计算:对应数据传输速率分别为 1kbps 与 10Mbps 的协议效率。

3-4-3 已知:传播延时为 20ms,节点发送速率为 100kbps。对于一个理想链路上采用的 ARQ 停止等待协议,如果效率要达到 0.6,那么帧长度最小为多少比特?

3-4-4 卫星通信系统采用停止等待 ARQ 协议。已知:一个卫星通信系统从地球到卫星的单向传播延时为 270s,数据帧长度为 1000b,数据发送速率为 500kbps。计算协议效率。

3-4-5 一个 IEEE 802.11b 无线局域网系统采用停止等待 ARQ 协议。已知:数据发送速率为 11Mbps;最大传输距离为 100m;数据帧长度为 1500B。计算协议效率。

3-4-6 以下关于反馈重发 ARQ 机制的描述中,错误的是_____。

A. 发送方将数据校验字段一起发送到接收端

B. 接收方通过检错码检查数据帧是否出错,一旦出错,采用反馈重发方法纠正

C. 发送方在发送数据帧之后就可以不保留该帧的副本

D. 如果数据传输正确,接收方向发送方发送 ACK 确认信息

3-4-7 数据链路发送窗口 $W_s=4$,在发送 3 号帧、接收到 2 号帧的确认之后,发送方还能够

发送的帧数是_____。

- A. 1 B. 2 C. 3 D. 4

3-4-8 在以下滑动窗口概念的描述中,错误的是_____。

- A. 多帧、连续工作 ARQ 机制引入滑动窗口的概念
B. 连续工作 ARQ 可以分为拉回(GBN)与选择重发纠错(SR)两种方式
C. 发送窗口 W_t 表示在没有接收到确认的情况下,发送方最多可以连续发送的帧数
D. 帧序号长度为三位, ARQ 能够使用的最大窗口范围为 16

3-4-9 以下关于连续工作 ARQ 方式的描述中,错误的是_____。

- A. 停止等待方式的优点是协议简单,但是协议效率低
B. 连续工作 ARQ 方式分为两种类型:拉回方式和选择重发方式
C. 选择重发方式只发送出错的帧
D. 拉回方式虽然重发的帧可能多一些,但是它的效率高于选择重发方式

3-4-10 采取后退 N 帧 GBN 的拉回重发协议中,发送方已经发出编号为 0~5 的帧,当计时器超时,只收到接收方对 0、1、3、4 号帧的确认。那么发送方需要重发哪几个帧?

3-4-11 采取选择重传 SR 协议中,发送方发出编号为 0~5 的帧,只收到接收方对 1 号帧的确认,0、2 号帧依次超时。那么发送方需要重发哪个或几个帧?

3-4-12 采取选择重传 GBN 协议中,数据传输速率为 16kbps,单向传播延时为 270ms,数据帧长度范围为 128512B;接收方总是以等长的帧回复确认。为了使信道利用率达到最高,帧序号的比特位至少为多少?

3.5 PPP 协议

3-5-1 以下关于 PPP 协议特点的描述中,错误的是_____。

- A. PPP 协议也广泛用于路由器之间的专用线路
B. PPP 协议可以用于点-点连接,也可以用于点对多点连接
C. 网络控制协议(NCP)用于建立和配置不同的网络层协议
D. 链路控制协议(LCP)用于建立、配置、管理和测试数据链路连接

3-5-2 以下关于 PPP 信息帧格式的描述中,错误的是_____。

- A. 信息帧的数据字段的长度可变,它包含着要传送的数据
B. 信息帧头包括标志字段、地址字段、控制字段与协议字段
C. 地址字段长度值为接收节点的地址
D. 协议字段值为 0021H 表示网络层使用 IP 协议

3-5-3 接收端接收到的 PPP 信息字段的十六进制数为: 7D 5E FE 27 7D 5D 7D 5D 65 7D 5E。试根据字节填充规则还原出发送的数据。

3-5-4 以下关于 PPP 链路控制帧的描述中,错误的是_____。

- A. PPP 帧的协议字段值为 8021H 表示链路控制帧
B. 数据链路选项包括协商异步链路中将什么字符当作转义字符
C. 数据链路选项包括协商不传输标志字节或地址字节,将协议字段缩短为 1 字节
D. 在同步链路中,转义采用的“0 比特插入/删除”方法由硬件自动完成

3-5-5 以下关于 PPP 网络控制帧的描述中,错误的是_____。

- A. 网络控制帧可以用来协商是否采用报头压缩 CSLIP 协议
- B. 网络控制帧可以配置网络层,并获取一个临时 IP 地址
- C. 结束访问时网络控制帧断开网络连接并释放 IP 地址
- D. 释放 IP 地址后再使用网络控制帧断开网络链路连接

第二部分 同步练习答案与解析

3.1 差错产生与差错控制方法

3-1-1 分析:设计该例题的目的是加深读者对差错产生的原因和差错类型的理解。在讨论差错产生的原因和差错类型时,需要注意以下几个主要的问题:

- (1) 发送数据通过通信信道后与接收数据不一致的现象称为传输差错。
- (2) 检查是否出现差错以及如何纠正差错的方法称为差错控制方法。
- (3) 通信信道噪声是产生传输差错的主要原因。
- (4) 通信信道的噪声分为两类:热噪声和冲击噪声。
- (5) 热噪声是一种随机的噪声,由热噪声引起的差错是随机差错。
- (6) 冲击噪声是由外界电磁干扰引起的。冲击噪声引起的传输差错是一种突发差错。引起突发差错的位长称为突发长度。

(7) 通信过程中产生的传输差错是由随机差错与突发差错共同构成的。

从以上分析中可以看出,D 关于冲击噪声引起差错性质的描述是错误的。

答案: D。

3-1-2 分析:设计该例题的目的是加深读者对误码率概念的理解。在讨论误码率时,需要注意以下几个主要的问题:

(1) 误码率是指二进制比特在数据传输系统中被传错的概率,它在数值上近似等于: $P_e = N_e / N$ 。其中, N 为传输的二进制比特总数, N_e 为被传错的比特数。

(2) 误码率是衡量数据传输系统正常工作状态下传输可靠性的参数。数据在通信信道中传输时一定会由各种原因出现错误,出现传输错误是正常的和不可避免的,但是一定要控制在一定允许的范围内。

(3) 对于一个实际的数据传输系统,不能笼统地说误码率越低就越好,要根据实际的传输要求提出误码率要求。在数据传输速率确定后,要求传输系统的误码率越低,则传输系统的设备就会越复杂,相应造价也就越高。

(4) 对于实际数据传输系统,如果传输的不是二进制位,需要折合成二进制位来计算。

(5) 差错的出现具有随机性,在实际测量一个数据传输系统时,只有被测量的传输二进制位数越大,才会越接近真正的误码率值。

从以上分析中可以看出,噪声是通信信道所固有的,数据在通信信道传输过程中一定会因为各种原因出现错误,误码率是衡量数据传输系统正常工作状态下传输可靠性的参数,而不是异常状态,这一点经常引起误解。因此,C 的描述是错误的。

答案: C。

3-1-3 分析:设计该例题的目的是加深读者对检错码概念的理解。在讨论检错码概念时,需要注意以下几个主要的问题:

(1) 在计算机通信中,自动检测出错误并进行纠正的方法称为差错控制方法。

(2) 纠错码:为每个传输的分组加上足够多的冗余信息,以便接收方能发现并自动纠正传输差错。

(3) 检错码:为每个传输的分组加上一定的冗余信息,接收方可以根据这些冗余信息发现传输差错,但不能确定是哪一位或哪些位出错,并且自己不能够纠正传输差错。

(4) 检错码方法需要通过重传机制达到纠错目的。由于检错码工作原理简单,实现起来比较容易,编码与解码速度快,因此得到了广泛的应用。

从以上分析中可以看出,检错码方法通过重传机制达到纠错目的,工作原理简单,实现起来比较容易。纠错码实现相对困难。

因此,D的描述是错误的。

答案:D。

3-1-4 分析:设计该例题的目的是加深读者对循环冗余编码(CRC)特点的理解。在讨论CRC时,需要注意以下几个主要的问题:

(1) CRC具有检错能力强与实现容易的特点,是目前应用最广泛的检错码编码方法。

(2) CRC检错方法的工作原理是:将要发送的数据比特序列当作一个多项式 $f(x)$ 的系数,在发送端用收发双方预先约定的生成多项式 $G(x)$ 去除,求得一个余数多项式。将余数多项式加到数据多项式后发送到接收端。在接收端,用同样的生成多项式 $G(x)$ 去除接收数据多项式 $f'(x)$,得到计算余数多项式。如果计算余数多项式与接收余数多项式相同,表示传输无差错;否则,表示传输有差错,由发送方重发数据,直至正确为止。

(3) 生成多项式 $G(x)$ 的结构及检错效果是经过严格的数学分析与实验后确定,是由数据链路层协议规定的。

(4) 实际的CRC校验码是采用二进制模二算法的异或操作生成的。

(5) 在实际的网络应用中,CRC校验码的生成与校验过程可以用软件或硬件来实现。

(6) CRC校验码除了能够检查出离散错,还能够检查出突发错。

从以上分析中可以看出,CRC生成多项式 $G(x)$ 由协议来规定, $G(x)$ 的结构及检错效果是经过严格的数学分析与实验后确定的。目前,已有多种生成多项式列入国际标准,如:

$$\text{CRC-12} \quad G(x) = x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$$

$$\text{CRC-16} \quad G(x) = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

$$\text{CRC-CCITT} \quad G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

$$\text{CRC-32} \quad G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

生成多项式 $G(x)$ 不是随机生成的。

因此,A的描述是错误的。

答案:A。

3-1-5 分析:设计该例题的目的是为了加深读者对CRC校验原理和计算方法的理解。讨论CRC校验的实现方法需要注意以下几个问题:

(1) 发送方生成数据多项式 $f(x)x^k$,其中 k 为生成多项式的最高幂的值减1。本例中生成多项式的最高幂的值为5, $k=5-1=4$ 。那么 $f(x)x^4$ 首先将发送数据比特序列左移4位为11110011 0000,这里的0000用来放入余数。

注意：由于发送数据比特序列左移的目的是放余数，余数最大为 4 位，因此左移的位数 k 应该是生成多项式的最高幂值减 1。本例中 $k=5-1=4$ 。

(2) 将 $f(x)x^k$ 除以生成多项式 $G(x)$ ，得 $f(x)x^k/G(x)=Q(x)+R(x)/G(x)$ 。其中，式中 $R(x)$ 为余数多项式。

(3) 将 $f(x)x^k+R(x)$ 作为整体，从发送方通过通信信道传送到接收方。

计算：

(1) 生成 CRC 校验码

$$\begin{array}{r}
 10101110 \leftarrow Q(x) \\
 G(x) \rightarrow 11001 \sqrt{111100110000} \leftarrow f(x) \cdot x^k \\
 \underline{11001} \\
 11101 \\
 \underline{11001} \\
 10010 \\
 \underline{11001} \\
 10110 \\
 \underline{11001} \\
 11110 \\
 \underline{11001} \\
 1110 \leftarrow R(x)
 \end{array}$$

CRC 校验码 $R(x)=1110$ 。

(2) 将余数比特序列加到乘积中得

1 1 1 1 0 0 1 1	1 1 1 0
发送数据 比特序列	CRC校验码 比特序列
带CRC校验码的 发送数据比特序列	

发送带有校验码的比特序列是 111100111110。

答案：(1) CRC 校验码为 1110。

(2) 发送的比特序列是 111100111110。

3-1-6 分析：设计该例题的目的是为了加深读者对 CRC 校验计算方法的理解。讨论 CRC 校验的实现方法需要注意以下几个问题：

(1) 发送方生成数据多项式 $f(x)x^k$ ，其中 k 将发送数据比特序列左移 k 位用来放余数。 $k=N-1$ 。 N 为生成多项式 $G(x)$ 的二进制比特位数。

(2) 将 $f(x)x^k$ 除以生成多项式 $G(x)$ ，得 $f(x)x^k/G(x)=Q(x)+R(x)/G(x)$ 。其中，式中 $R(x)$ 为余数多项式。

(3) 将 $f(x)x^k+R(x)$ 作为整体，从发送方通过通信信道传送到接收方。

根据以上分析可以看出，可以根据 $G(x)$ 的二进制比特位数 N 得出 k 值；在发送的帧比特序列的后 k 位即是校验码。

计算：从已知条件可以看出：

(1) $N=8$ ，则 $k=8-1=7$ ；

(2) 发送的帧比特序列为 110...1000001010；

(3) 校验码应该为 0001010。

答案: CRC 校验比特序列为 0001010。

3-1-7 分析: 设计该例题的目的是加深读者对反馈重发纠错 ARQ 概念的理解。在讨论反馈重发纠错 ARQ 概念时,需要注意以下几个主要的问题:

(1) 实际的数据通信系统中采用检错码,必须制定基于检错码的差错控制的反馈重发纠错 ARQ 协议与机制。

(2) 反馈重发纠错 ARQ 是指:收发双方在发现帧传输错误时采用反馈重来纠正错误的方法。

(3) 发送方将数据经过校验码编码器产生校验字段,并将校验字段与数据通过传输信道发送到接收方,同时在发送缓冲区中保留发送数据帧的副本。

(4) 接收方通过校验码译码器判断数据传输中是否出错。如果数据传输正确,那么接收方通过反馈信号控制器向发送方发送“传输正确(ACK)”信息。

(5) 接收方的反馈信号控制器收到 ACK 信息后,将不再保留发送数据的副本。如果数据传输不正确,那么接收方向发送方发送“传输错误(NAK)”信息。

(6) 发送方的反馈信号控制器收到 NAK 信息后,将根据保留数据的副本重新发送,直至协议规定的最大重发次数中正确接收为止。如果超过协议规定的最大重发次数,接收方仍然不能正确接收,发送方停止该帧的发送,同时向高层协议报告错误信息。

从以上分析中可以看出,C 关于发送方只发送数据字段的描述是错误的。

答案: C。

3.2 数据链路层的基本概念

3-2-1 分析: 设计该例题的目的是加深读者对线路、信道、链路、数据链路区别的理解。线路、信道、链路、数据链路这几个术语虽然简单,但是很重要,并且容易混淆,分析它们之间的区别和联系,对于帮助读者理解数据通信原理是有益的。图 3-1 给出了上述几个术语的关系示意图。

在讨论线路、链路、数据链路区别时,需要注意以下几个主要的问题:

(1) 通信线路是指用于传输数据信号的传输介质,如双绞线、同轴电缆、光纤等。通信线路通常被简称为线路(circuit)。一条点对点的线路中间没有任何交换节点。通信线路通常被称作物理线路(physical circuit)。

(2) 一根通信线路可以通过多路复用方式分成多个通信信道,典型的方式是在同轴电缆中采用时分多路复用 TDM、频分多路复用 FDM、码分多路复用 CDMA 的方法,以及在光纤中使用波分多路复用 WDM 方式。每个信道可以传输一路信号。通信信道经常被简称为信道(channel)。

(3) 发送方的数据信号由发送器通过信道传送到接收方,接收器接收到数据信号。发送器、信道与接收器就构成了一条传输数据信号的链路(link)。

(4) 为了保证数据信号通过链路传输过程中的可靠性,在链路的两端均设置有执行数据链路层协议的设备,它可以用硬件方式实现,也可以用软件方式实现。发送方的数据链路层设备、发送器、信道、接收器与数据链路层设备就构成了一条数据链路(data link)。

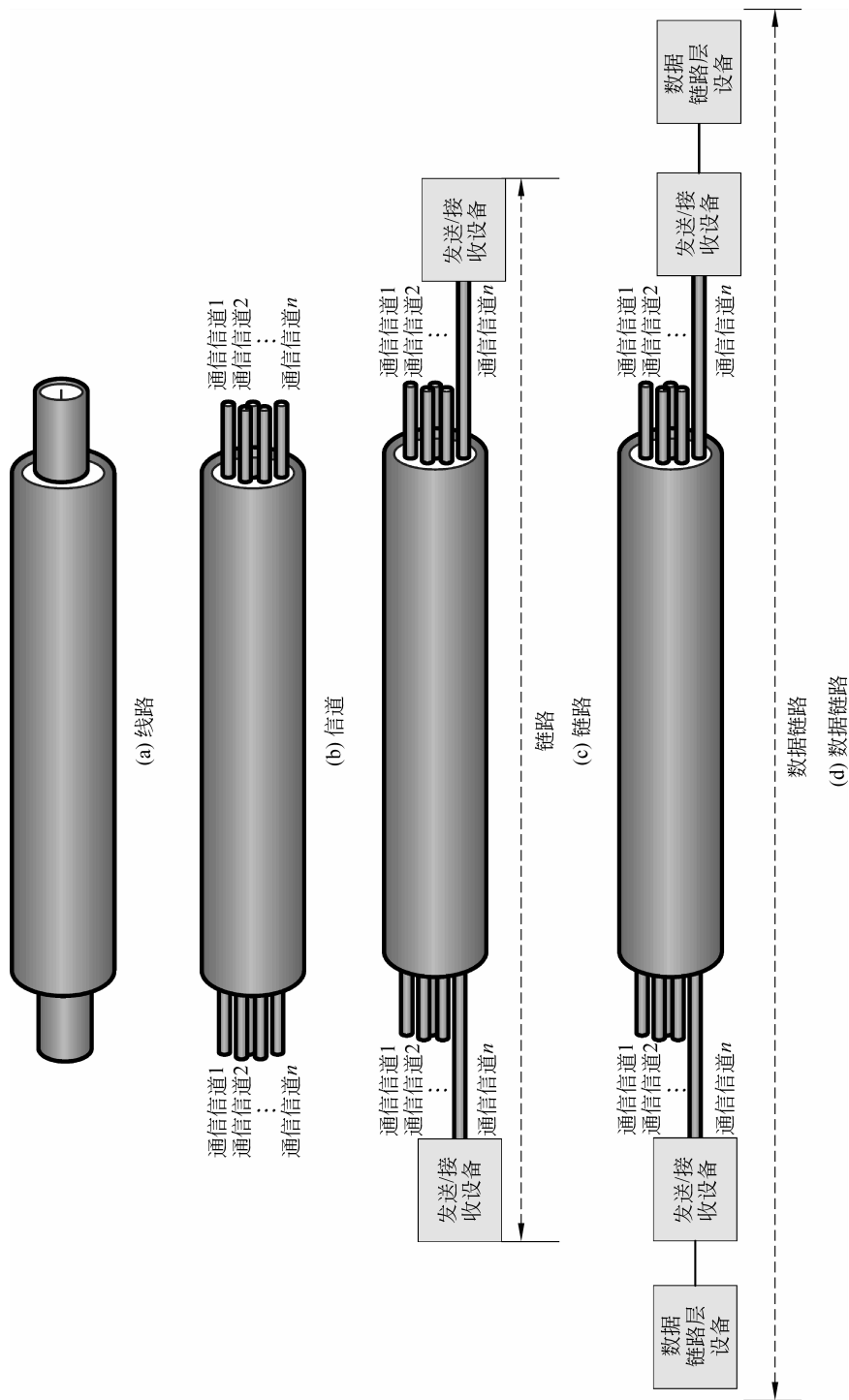


图 3-1 线路、链路、数据链路关系示意图

从以上分析中可以看出,B关于线路通过多路复用方法分成多个信道的描述是错误的。ASK是将数字数据信号变换成模拟数据信号在模拟信道上传输的方法,而不是多路复用方法。

答案:B。

3-2-2 分析:设计该例题的目的是加深读者对数据链路协议类型的理解。在讨论数据链路协议类型的划分时,需要注意以下几个主要问题:

(1) 数据链路层属于网络体系结构中的低层。数据链路层使用的链路有两类:点-点链路与广播链路。

(2) 点-点链路通过一条通信信道将两个节点直接连接起来,那么两个节点独占这一条通信信道,不存在多个节点竞争信道的问题。

(3) 广播链路中多个节点共享一条通信信道,必然存在多个节点竞争共享信道的问题。

(4) 正是因为节点在点-点链路与广播链路通信状态下工作机制不同,因此两类协议也就不同。

(5) 目前针对点-点链路的数据链路层协议可以分为两类:面向字符型协议与面向比特型协议。广泛应用的 HDLC 与 PPP 属于面向比特型的数据链路层协议。

(6) 广播链路主要针对局域网与无线网络。典型的局域网协议主要有 IEEE 802.3 的 Ethernet 协议、IEEE 802.11 的 WLAN 协议与 IEEE 802.16 的无线城域网协议。广播链路的数据链路层协议主要是解决多个节点争用共享信道的控制和协调问题。

从以上分析中可以看出,D关于PPP协议类型的描述是错误的。

答案:D。

3-2-3 分析:设计该例题的目的是加深读者对数据链路层功能的理解。为了实现数据链路控制功能而制定的协议或规程称为数据链路层协议。数据链路层的功能主要有以下几点:

(1) 链路管理。

当两个节点要开始进行通信时,发送方必须确认接收方处在准备接收状态。双方必须先交换一些必要的信息,建立数据链路连接;同时,在传输数据时要维持数据链路;当通信完毕时,要释放数据链路。

(2) 帧同步。

数据在数据链路层以帧为单位传输。物理层的比特流按数据链路层协议的规定被封装在数据帧中传输。帧同步是指接收方应该能够从收到的比特流中正确地判断出一帧的开始位与结束位。

(3) 流量控制。

发送方的数据发送不能引起链路拥塞,并且接收方要能来得及接收。当链路出现拥塞或接收方来不及接收时,就必须控制发送方的数据发送速率。

(4) 差错控制。

计算机通信往往要求有极低的误码率,这样就必须采用差错控制技术。差错控制技术要使接收端能够发现传输错误,并在发送端的配合下纠正传输错误。

(5) 透明传输。

当传输的数据帧中出现控制字符时,就必须采取适当的措施,例如转义字符与“0 比特

插入/删除”方法,使接收方不至于将数据误认为是控制信息。

(6) 寻址。

在多点连接的情况下,要保证每一帧能传送到正确的目的节点。接收方也应该知道发送方是哪个节点,以及该帧是发送给哪个节点。

从以上分析中可以看出,B对帧同步作用的描述是错误的。

答案:B。

3-2-4 分析:设计该例题的目的是加深读者对数据链路层与网络层关系的理解。在讨论数据链路层时,需要注意以下几个主要问题:

(1) 数据链路层介于物理层与网络层之间。

(2) 设立数据链路层的主要目的是将原始的、有差错的物理线路变为对网络层无差错的数据链路。

(3) 为了实现这个目的,数据链路层必须实现链路管理、帧传输、流量控制、差错控制等功能。

(4) 数据链路层为网络层提供的服务主要表现在正确传输网络层的用户数据;为网络层屏蔽物理层采用的传输技术的差异性。

从以上分析中可以看出,数据链路层是向网络层屏蔽物理层采用的传输技术的差异性。因此,B的描述是错误的。

答案:B。

3-2-5 分析:设计该例题的目的是加深读者对面向字符型与面向比特型的协议特点的理解。在讨论面向字符型协议报文结构的特点时,需要注意以下几个主要问题:

(1) 为了使原始的、有差错的物理线路成为无差错的数据链路,需要在物理层之上增加数据链路层。实现数据链路层的功能就需要制定相应的数据链路层协议。数据链路层协议可以分为两类:面向字符型与面向比特型。

(2) 早期出现的数据链路层协议是面向字符型的协议。它的特点是利用已定义好的一种标准字符编码(例如 ASCII 码、EBCDIC 码)的一个子集来执行通信控制功能。

(3) 在面向字符型的 BSC 协议中,使用 ASCII 码中的 10 个控制字符完成通信控制,并规定了数据与控制报文的格式,以及协议操作过程。

(4) BSC 协议的数据报文格式是:

① 报头字段从 SOH 字符开始,报头字段是选项并由用户自行定义,例如存放地址、路径信息、发送日期等。

② 正文字段由 STX 字符开始,正文字段的长度未作规定,如果正文太长,则需要将正文分成几块传输,每块用 ETB 结束正文字段。

③ 当全部正文传输结束后,用 ETX 结束正文字段。BCC 是校验字段。

(5) 面向字符型协议有三个明显的缺点:

① 使用不同字符集的两台计算机很难利用面向字符型协议进行通信。

② 控制字符的编码(例如同步字符 SYN 编码为 0010110)不能在用户数据字段中出现。这种现象称为用户数据不能“透明”传输。

③ 当正文字段中会出现控制字符时需要使用转义字符。

(6) 为了克服这些缺点,在此基础上提出面向比特型协议,典型代表是 ISO 提出的高级

数据链路控制(HDLC)协议。

从以上分析中可以看出,BSC 数据报用 SOH 字符表示报头的开始,而不是正文的开始。

答案:C。

3.3 面向比特型数据链路层协议——HDLC 协议

3-3-1 分析:设计该例题的目的是加深读者对 HDLC 帧结构的理解。在讨论 HDLC 帧结构时,需要注意以下几个主要问题:

(1) 数据链路层的数据传输以帧为单位。这里的“帧”在 OSI 术语中是“数据链路协议数据单元(DL-PDU)”。

(2) HDLC 的帧结构具有固定的格式。网络层提交给数据链路层传输的数据放在 HDLC 帧的信息字段 I 中。数据链路层在信息字段的头尾各加上控制信息构成了一个完整的帧。

(3) HDLC 帧的组成为标志字段 F(8bit)、地址字段 A(8/16bit)、控制字段 C(8bit)、信息字段 I、帧校验字段 FCS(16bit)与标志字段 F(8bit)。

(4) HDLC 帧在地址字段 A、控制字段 C、信息字段 I、帧校验字段 FCS 采用 0 比特插入/删除方法,因此信息字段允许任意的二进制比特序列的组合。

(5) HDLC 帧校验字段对地址字段 A、控制字段 C、信息字段 I 进行校验。

从以上分析中可以看出,C 关于 HDLC 帧的 0 比特插入/删除范围的描述是错误的。

答案:C 是错误的。

3-3-2 分析:设计该例题的目的是加深读者对 HDLC 协议基本配置方式的理解。在讨论 HDLC 协议基本配置方式时,需要注意以下几个主要问题:

(1) 数据链路配置有两种:非平衡配置与平衡配置。

(2) 非平衡配置方式的特点:一组节点根据在通信过程中的地位分为主站与从站,由主站来控制数据链路的工作过程。主站发出命令;从站接受命令,发出响应,配合主站工作。

(3) 非平衡配置又可以分为两种类型,即点对点方式和多点方式。在多点方式的链路中,主站与每个从站之间都要分别建立数据链路。

(4) 非平衡配置可以有两种数据传送方式即,正常响应模式与异步响应模式。

- 正常响应模式(NRM)。

在正常响应模式中,主站可以随时向从站传输数据帧。从站只有在主站向它发送命令帧探询,从站响应后才可以向主站发送数据帧。

- 异步响应模式(ARM)。

在异步响应模式中,主站和从站可以随时相互传输数据帧。从站不需要等待主站发出探询就可以发送数据帧。但是,主站仍然负责数据链路的初始化、链路的建立、释放与差错恢复等功能。

(5) 平衡配置方式的特点是链路两端的两个站都是复合站。复合站同时具有主站与从站的功能,因此每个复合站都可以发出命令与响应。平衡配置结构只有一种工作模式,那就是异步平衡模式(ABM)。每个复合站都可以平等地发起数据传输,而不需要得到对方复合

站的许可。

HDLC 协议配置方式与数据传送方式是很容易引起混淆的,设计该问题的目的是促使读者认真理解这些概念,这对了解协议设计方法是很有用的。比较具体内容之后会发现,人们会从字面的意义去认识“正常响应模式 NRM”与“异步响应模式 ARM”的内涵,C 正是初学者最容易出现的错误。

答案: C。

3-3-3 分析: 设计该例题的目的是加深读者对 HDLC 帧结构的理解。在讨论 HDLC 帧结构时,需要注意以下几个主要问题:

(1) HDLC 的帧结构具有固定的格式。

(2) HDLC 帧结构包括: 标志字段 F、地址字段 A 与控制字段 C。

(3) HDLC 规定在一个帧开头的第 1 个字节和结尾的最后 1 个字节的特殊标记。标志字段 F(flag)就是帧的开始与结束的标记。标志字段 F 为 011111110 特定的比特序列。为了解决数据传输的透明性问题,HDLC 协议规定采用“0 比特插入/删除方法”。

(4) 0 比特插入/删除方法规定: 发送方在两个标志字段为 F 之间的比特序列中,如果检查出连续的 5 个 1,不管它后面的比特位是 0 或 1,都增加 1 个 0 比特位;在接收过程中,在两个标志字段 F 之间的比特序列中检查出连续的 5 个 1 之后就删除 1 个 0 比特位。

(5) 地址字段 A 长度是 8 位的整数倍。

(6) 控制字段 C 将 HDLC 帧划分为三类: 信息帧(I)、监控帧(S)与无编号帧(U)。

从以上的分析中可以看出,HDLC 帧结构具有固定的格式。因此,A 的提法是错误的。

答案: A。

3-3-4 分析: HDLC 的“0 比特插入/删除”方法规定: 发送端在两个标志字段 F 之间的比特序列中,如果检查出连续的 5 个 1,不管它后面的比特位是 0 或 1,都增加 1 个 0 比特位。

计算:

(1) 发送的二进制比特序列是 0110 1111 1111 1100。

(2) 插入后的二进制比特序列是 0110 1111 1011 1110 00。

答案: 插入后的二进制比特序列是 0110 1111 1011 1110 00。

3-3-5 分析: 设计这道习题的目的是帮助读者进一步理解 HDLC 的“0 比特删除”方法。

计算:

(1) 发送的二进制比特序列是 0001 1101 1111 0111 1101 10。

(2) 插入后的二进制比特序列是 0001 1101 1111 1111 1110。

答案: 插入后的二进制比特序列是 0001 1101 1111 1111 111。

3.4 数据链路层滑动窗口协议及帧传输效率分析

3-4-1 分析: 设计该例题的目的是加深读者对 ARQ 协议的类型和特点的理解。在讨论 ARQ 协议的类型和特点时,需要注意以下几个主要的问题:

(1) 在数据链路层的差错控制方法中,ARQ 实现方法有两种: 单帧的停止等待方式和多帧的连续发送方式。连续工作方式又分为两种类型: 拉回(GBN)重发纠错方式和选择重

发纠错方式。

(2) 在单帧的停止等待反馈重发纠错方式中,发送方每次发送一帧之后,需要等待确认帧返回之后再发送下一帧。停止等待方式的优点是协议简单,但是系统通信效率低。

(3) 在拉回(GBN)重发纠错方式中,发送方可以连续向接收方发送数据帧,接收方对接收到的数据帧进行校验,然后向发送方返回相应的应答帧。如果发送方发现序号为 k 的帧传输出错,则要求重新发送序号 k 及其已经正确发送的帧。

(4) 在选择重发纠错方式中,发送方可以连续向接收方发送数据帧,接收方对接收到的数据帧进行校验,然后向发送方返回相应的应答帧。如果发送方发现序号为 k 的帧传输出错,发送方只要求重传序号为 k 的帧。

从以上分析中可以看出,如果发送方在连续发送了编号为 0~3 帧后,从应答帧得知序号为 1 的帧传输错误,发送方将停止发送当前帧,并且重新发送序号为 1、2、3 帧。在拉回状态结束后,再继续发送 4 号帧。

因此,C 关于拉回重发纠错方式要求重发序号为 k 及以前帧的描述是错误的。

答案:C。

3-4-2 分析: 设计该问题的目的是加深读者对 ARQ 停止-等待协议的效率计算方法的理解。

(1) 在无传输差错状态下执行 ARQ 停止等待协议的效率计算公式为

$$U = 1/(1 + 2\alpha)$$

其中, $\alpha = \text{传播延时}/\text{发送延时} = t_p/t_f$

(2) 已知: 链路长度为 1000m、帧长度为 1000bit;

同时: 电磁波传播速度约为 $2 \times 10^8 \text{ m}$ 。

计算:

① 数据传输速率为 1kbps:

$$\text{传播延时 } t_p = 1000/(2 \times 10^8) = 5 \times 10^{-6} (\text{s})$$

$$\text{发送延时 } t_f = 1000/(1000) = 1 (\text{s})$$

$$\alpha = t_p/t_f = 5 \times 10^{-6}$$

$$U_1 = 1/(1 + 2\alpha) \approx 1$$

② 数据传输速率为 10Mbps:

$$\text{传播延时 } t_p = 1000/(2 \times 10^8) = 5 \times 10^{-6} (\text{s})$$

$$\text{发送延时 } t_f = 1000/(10 \times 10^6) = 1 \times 10^{-4} (\text{s})$$

$$\alpha = t_p/t_f = 5 \times 10^{-5}/1 \times 10^{-4} = 0.05$$

$$U_2 = 1/(1 + 2\alpha) \approx 0.91$$

答案: 数据传输速率为 1kbps 与 10Mbps 的协议效率分别为 1 与 0.91。

3-4-3 分析: 设计该问题的目的是加深读者对 ARQ 停止等待协议的效率计算方法的理解。

(1) 在无传输差错状态下执行 ARQ 停止等待协议的效率计算公式为

$$U = 1/(1 + 2\alpha) \quad \text{或} \quad U = t_f/(t_f + 2t_p)$$

其中, t_p 为传播延时, t_f 为发送延时。

(2) 在上式中, 已知 $U=0.6$, 传播延时 $t_p=2 \times 10^{-3} (\text{s})$ 。可以根据这两个数据计算出

发送延时 t_f , 然后再根据发送速率计算出帧长度。

计算:

$$\textcircled{1} \text{ 已知: } 0.6 = t_f / (t_f + 2 \times 2 \times 10^{-3})$$

$$\text{得出: } t_f = 6 \times 10^{-3} (\text{s})$$

$$\textcircled{2} \text{ 已知: } t_f = L_f / S_t$$

式中, L_f 为帧长度, S_t 为节点发送速率。已知 S_t 为 100kbps。

$$\text{那么, } L_f = t_f \times S_t = 6 \times 10^{-3} \times 100 \times 10^3 = 600 (\text{bit})$$

答案: 帧长度最小为 600bit, 效率可以达到 0.6。

3-4-4 分析: 设计该例题的目的是结合数据链路层关于停止等待 ARQ 协议, 计算在卫星通信系统传播延时较大情况之下的停止等待 ARQ 协议效率问题。

(1) 停止等待 (ARQ) 协议能够达到的帧传输效率为

$$U = 1 / (1 + 2\alpha)$$

其中, α = 传播延时 / 发送延时 = t_p / t_f 。

(2) 本题已知传播延时 t_p , 可以通过数据帧长度与数据发送速率计算出发送延时 t_f , 因此可以计算出协议效率。

计算:

$$\textcircled{1} t_p = 270 (\text{s})$$

$$\textcircled{2} t_f = 1000 / (500 \times 10^3) = 0.002 (\text{s})$$

$$\textcircled{3} \alpha = 270 / 0.002 = 1.36 \times 10^4$$

$$\textcircled{4} U = 1 / (1 + 2 \times 1.36 \times 10^4) \approx 3.7 \times 10^{-5}$$

答案: 采用停止等待 ARQ 协议的卫星通信系统的协议效率约为 3.7×10^{-5} 。

3-4-5 分析: 设计该例题的目的是结合数据链路层关于停止等待 ARQ 协议, 计算在无线局域网通信系统传播延时较小情况下的停止等待 ARQ 协议效率问题。

计算的原理与上例相同。需要注意的是, 无线局域网的电磁波在自由空间传播, 传播速度为 $3 \times 10^8 (\text{m/s})$ 。

计算:

$$\textcircled{1} t_p = 100 / 3 \times 10^8 \approx 3.3 \times 10^{-7} (\text{s})$$

$$\textcircled{2} t_f = (1500 \times 8) / (11 \times 10^6) \approx 1.09 \times 10^{-3} (\text{s})$$

$$\textcircled{3} \alpha = 3.3 \times 10^{-7} / 1.09 \times 10^{-3} = 3.03 \times 10^{-4}$$

$$\textcircled{4} U = 1 / (1 + 2 \times 3.03 \times 10^{-4}) \approx 1.0$$

答案: 在以上条件下的无线局域网通信系统停止等待 ARQ 协议效率约等于 1.0。

3-4-6 分析: 设计该例题的目的是加深读者对 ARQ 实现机制的理解。

在讨论 ARQ 实现机制时, 需要注意以下几个主要问题:

(1) 接收方通过检错码检查数据帧是否出错, 一旦发现错误, 通常采用反馈重发 ARQ 方法来纠正。

(2) 发送方将数据经过校验码编码器产生校验字段, 并将校验字段与数据一起通过传输信道发送到接收端。

(3) 为了适应反馈重发的需要, 发送方在存储器中保留发送数据的副本。

(4) 接收方通过校验码译码器判断数据传输中是否出错。如果数据传输正确, 接收方

通过反馈信号控制器向发送方发送“传输正确(ACK)”信息。发送方的反馈信号控制器收到 ACK 信息后,将不再保留发送数据的副本。

(5) 如果数据传输不正确,接收方向发送端发送“传输错误(NAK)”信息。发送方的反馈信号控制器收到 NAK 信息后,将根据保留数据的副本重新进行发送,直至在协议规定的最大重发次数中正确接收为止。如果超过协议规定的最大重发次数,接收方仍然不能正确接收,那么发送方将向高层协议报告错误信息。

从以上分析中可以看出,C 的描述是错误的。

答案: C。

3-4-7 分析: 设计这道题目的目的是帮助读者深入理解发送窗口的概念。

(1) 在数据链路层差错控制的 GBN 方式与 SR 方式中,发送方不必等待接收方的确认 ACK 信息到来,就可以连续发送多个数据帧。但是从流量控制的角度,发送方可以连续发送帧的数量要受到接收方的限制。为了引入滑动窗口协议,人们定义了发送窗口与接收窗口。滑动窗口通过协调发送窗口 W_r 与接收窗口 W_s 值的方法来实现流量控制功能。

(2) 这里有一个问题需要注意:发送窗口长度为 4 还是发送窗口数量 $W_s=4$ 。很多教程在这个问题的表述上不够清晰。按照常规的不是方法,发送窗口长度为 4,不是发送方可以连续发送 2^4 个帧,即可以发送编号为 0、1、2……15 共 16 个帧。从题意上看,应该理解为“发送窗口数量 $W_s=4$ ”,即发送窗口长度为 2。发送方可以连续发送 0、1、2、3 号的 4 个帧。

(3) 题中表示“在发送 3 号帧、接收到 2 号帧的确认”,那么发送方还能够连续发送的帧是 0、1、2,也就是还可以发送三个帧。

因此,C 的数值是正确的。

答案: C。

3-4-8 分析: 设计该例题的目的是加深读者对多帧滑动窗口与后退 N 帧协议(GBN)概念的理解。滑动窗口的概念在数据链路层与传输层的讨论中都会涉及。在讨论多帧滑动窗口与后退 N 帧协议(GBN)概念时,需要注意以下几个主要问题:

(1) 在多帧、连续工作的 ARQ 方式中,为了限制已经发出但没有被确认帧的数量,ARQ 机制中引入了滑动窗口的概念。发送方与接收方分别设置了发送窗口与接收窗口。

(2) 发送窗口。

发送窗口 W_r 用于对发送方进行流量控制,它的大小表示:在没有接收到对方确认的情况下,发送方最多可以连续发送的帧数。例如, $W_r=4$ 表示在没有接收到对已发出帧的确认的情况下,发送方还可以继续发送 4 个帧。

发送窗口使用的规则是(假设发送窗口范围为 2~5):

- 序号在发送窗口内的帧,即帧序号在 2~5 的帧,可以在它之前发出的序号为 0、1 等帧的确认没有到来的情况下连续发送。
- 每发送 1 帧之后,窗口不变,窗口大小减 1。
- 如果连续发送了序号为 5 的帧,仍然未接收到之前发出的帧的确认,发送方停止发送,进入等待状态。
- 每接收到 1 个确认,发送窗口向前滑动 1 个帧的位置。
- 根据 HDLC 协议的规定,如果接收到序号为 5 的帧的确认,则表明序号为 5 及以前发送的帧都被正确接收。

(3) 接收窗口。

接收窗口 W_R 的作用是控制接收数据帧的范围。

- 如果发送窗口范围为 0~3, 那么凡是帧序号在 0~3 的帧就接收; 序号不在这个范围内的帧就丢弃。
- 如果正确接收到序号为 0 的帧, 接收窗口就向前滑动一位, 即接收窗口范围为 1~4。

(4) 在多帧、连续工作的反馈重发纠错方式中, ARQ 可以分为两类: 拉回重发 (GBN) 纠错方式与选择重发 (SR) 纠错方式。

(5) 滑动窗口值。

在 HDLC 帧结构中, 发送帧序号 $N(S)$ 与接收帧序号 $N(R)$ 长度为 3 位, 因此窗口最大长度为 8。多帧连续发送的 ARQ 能够使用的最大窗口范围为 $2^3 - 1 = 7$ 。

从以上分析中可以看出, D 对 HDLC 最大窗口范围的描述是错误的。

答案: D。

3-4-9 分析: 设计该例题的目的是加深读者对连续工作 ARQ 选择重发方式的理解。

图 3-2 给出了连续工作 ARQ 两种方式的工作原理示意图。

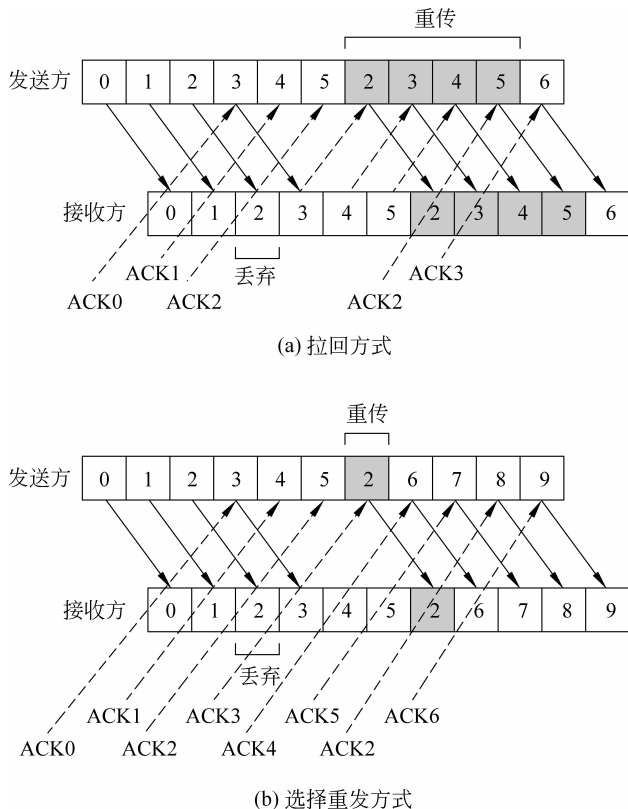


图 3-2 连续工作 ARQ 方式原理示意图

在讨论连续工作 ARQ 选择重发方式时, 需要注意以下几个主要问题:

(1) ARQ 实现方法有两种: 停止等待方式和连续工作方式。停止等待方式的优点是协议简单, 但是系统通信效率低。

(2) 连续工作 ARQ 方式又分为两种类型: 拉回方式和选择重发方式。

(3) 在拉回方式中, 发送方可以连续向接收方发送数据帧, 接收方对接收到的数据帧进行校验, 然后向发送方返回相应的应答帧。如果发送方在连续发送编号为 0~5 帧后, 从应答帧得知 2 号帧传输错误, 发送方将停止发送当前帧, 并且重新发送 2、3、4、5 号帧。在拉回状态结束后, 再继续发送 6 号帧。

(4) 选择重发方式与拉回方式的不同点在于: 如果发送方在发送 5 号帧时, 接收到 2 号帧传输出错的应答帧, 则发送方在发送完 5 号帧后, 只是重新发送出错的 2 号帧。在选择重发结束后, 再继续发送 6 号帧。显然, 选择重发方式的效率高于拉回方式。

从以上分析中可以看出, D 对两种工作方式协议效率的描述是错误的。

答案: D。

3-4-10 分析: 设计这道练习题的目的是帮助读者理解后退 N 帧(GBR)拉回重发方式与选择重发(SR)方式的区别。

重发(SR)方式相对比较简单, 哪个帧出错重传哪个帧。在后退 N 帧(GBR)拉回重发方式中, 发送方可以连续向接收方发送编号为 0~5 的帧, 接收方对接收到的数据帧进行校验, 然后向发送方返回相应的应答帧。如果发送方只接收到编号为 0、1、3、4 的帧之后, 从应答帧判断 2 号帧传输错误, 发送方将拉回重新发送 2、3、4、5 号帧。在拉回状态结束后, 再继续发送后续的帧。

答案: 重发 2、3、4、5 号帧。

3-4-11 分析: 设计这道练习题的目的是帮助读者理解选择重发(SR)方式的特点。

若采取选择重传 SR 协议, 发送方发出编号为 0~5 的帧, 已经收到 1 号帧的确认, 0、2 号帧依次超时, 那么发送方只需要重发 0、2 号帧。因为选择重发(SR)方式只根据是否在超时未接收到确认帧来决定是否需要重发。

答案: 重发 0、2 号帧。

3-4-12 分析: 设计这道习题的目的是帮助读者加深对拉回重发(GBN)方式工作过程的理解。

条件:

- ① 数据传输速率为 16kbps;
- ② 单向传播延时为 270ms;
- ③ 数据帧长度范围为 128~512B;
- ④ 接收方总是以等长的帧回复确认。

求: 信道利用率达到最高时的帧序号的比特位长度。

GBN 工作过程如图 3-3 所示。

假设: 帧长度为 L ($512\text{B} > L > 128\text{B}$)

发送延时 $t_1 = L \times 8 / 16 \times 10^3$ (s)

传播延时 $t_2 = 270$ (ms)

(1) 发送一帧到收到确认的时间

$$T_0 = 2(t_1 + t_2) = 2(L \times 8 / 16 \times 10^3 + 270)$$

(2) 由于求解的是信道利用率达到最高时的帧序号的比特位长度, 实际上是要求在发送一帧到收到确认的时间 T_0 内最多能够发送的帧数量 $N_{\max}$ 。传播延时一定, 为 270ms。

可变,它包含着要传送的数据,其开始部分可以是网络层的报头。

(2) PPP 信息帧头包括以下 4 个部分:标志字段、地址字段、控制字段与协议字段。

(3) 标志字节长度为 1 字节,用于比特流的同步,采用 HDLC 表示办法,其值为 7E(01111110),经常表示为 0x7E。

(4) 地址字段长度为 1 字节,其值始终为 FF(11111111),表示网中所有节点都能够接收该帧。

(5) 控制字段长度为 1 字节,取值为 03(00000011)。

(6) 协议字段长度为 2 字节,它标识网络层协议数据域的类型。常用的网络层协议类型主要有:0021H 表示 TCP/IP;0023H 表示 OSI;0027H 表示 DEC;002BH 表示 Novell;003DH 表示 Multilink。

(7) PPP 信息帧尾包括帧校验字段(FCS)字段与标志(flag)字段。

从以上的分析中可以看出,PPP 协议用于点对点链路,因此地址字段长度值始终为 FF(11111111)。因此,C 的描述是错误的。

答案:C。

3-5-3 分析:为了解决使用异步通信时 PPP 协议的数据传输透明性问题,RFC1662 定义了转义字符 0x7D,并使用了字节填充。字节填充规则是:

(1) 在信息字段中出现的每个 0x7E 字节,要转换成双字节 0x7D 0x5E。

(2) 在信息字段中出现的每个 0x7D 字节,要转换成双字节 0x7D 0x5D。

(3) 在信息字段中出现 ASCII 中控制字符(即数值小于 0x20)时,在该字符之前加一个 0x7D 字节,同时改变该字节。如传输结束 ETX(0x03),转换后的双字节是 0x7D 0x31。

计算:按照 RFC1662 定义的字节填充规则可以做出以下判断。

(1) 7D 5E 还原后应该为 7E。

(2) FE 27 仍然为 FE 27。

(3) 7D 5D 还原后应该为 7D。

(4) 7D 5D 还原后应该为 7D。

(5) 65 仍然为 65。

(6) 7D 5E 还原后应该为 7E。

因此,填充之前发送数据应为 7E FE 27 7D 7D 65 7E。

答案:发送数据为 7E FE 27 7D 7D 65 7E。

3-5-4 分析:设计该例题的目的是加深读者对 PPP 链路控制帧的理解。在讨论 PPP 链路控制帧时,需要注意以下几个主要问题:

(1) 在点对点链路中,主机接入需要经过三步:

① 呼叫 ISP 的路由器;

② 建立物理连接;

③ 发送链路控制帧,用来指定 PPP 协议的数据链路选项。

(2) PPP 协议的数据链路选项主要包括:

① 协商异步链路中将什么字符当作转义字符。

② 协商是否可以不传输标志字节或地址字节,并且将协议字段从 2 字节缩短为 1 字节。