

一种用于 MAP 网络的新型 宽带调制解调器

张振川 朱志良 王光兴

(东北工学院, 沈阳 110006)

摘要 随着数据传输技术的发展和各种数据通信网络的广泛应用, 对调制解调技术的研究也不断深入。本文介绍一种适用于 MAP (制造自动化协议) 网络的高性能宽带调制解调器。它采用 AM/PSK 技术, 设计新颖、实现简单, 既考虑符合有关国际标准, 又考虑满足国内应用需要。该调制解调器具备宽带 MAP 网络物理层的全部功能, 并且在单缆制宽带 MAP 网络中成功地进行了实验连网。

关键词 调制解调器; 相关电平编码; AM/PSK 调制; 制造自动化协议 (MAP)

1. 引言

随着社会向着信息化的深入发展, 以计算机网络为中心的各种数据通信网络取得了很大进展。调制解调器是现代通信系统中进行远距离信息传输的一种不可缺少的装置。随着各种数据通信网络的广泛应用和新的网络的出现, 调制解调技术不断发展, 尤其是数字调制技术, 由原始的 ASK, PSK, FSK 逐渐发展, 出现了 QASK, MASK, QPSK, MPSK, DPSK, APSK, MAPSK, IAPSK, SQPSK, MSK, MAMSK 等。这些技术各具特点, 并在不同的环境下获得应用。

本文介绍一种用 AM/PSK 调制方式实现的宽带射频调制解调器。它参照制造自动化协议 (MAP) 标准和 IEEE 802.4 宽带物理层 (physical layer) 规范设计, 具有频带利用率高, 自身检错能力强和实现简单等特点。

2. 相关电平编码和 AM/PSK 调制解调原理

(1) 相关电平编码 相关电平编码是在图 1(a) 所示的相关电平编码器中利用二进制序列相邻码元的相关, 对输入信号进行处理。与普通二进制系统的根本差别在于其传输特性为余弦滤波器, 而不是普通的低通滤波器。相关编码器的传输函数为

$$H_1(j\omega) = 1 + \exp(-j\omega T_s) = 2 \cos(\omega T_s / 2) \cdot \exp(-j\omega T_s / 2) \quad (1)$$

理想低通滤波器的传输函数为

$$H_2(j\omega) = \begin{cases} T_s, & |\omega| \leq \pi / T_s \\ 0, & |\omega| > \pi / T_s \end{cases} \quad (2)$$

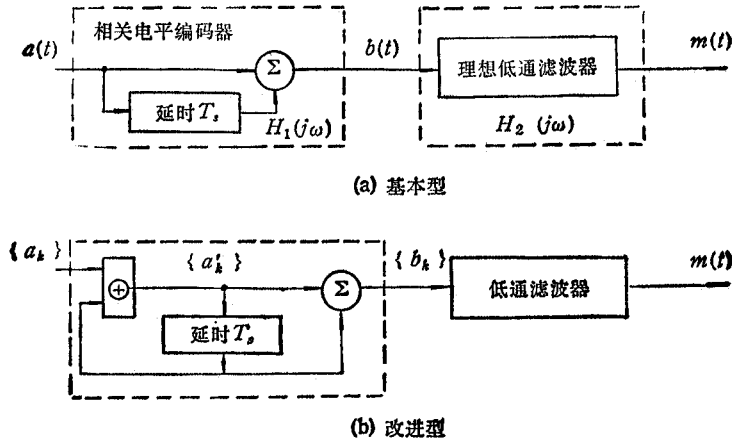


图 1 相关电平编码系统的原理方框图

(1)式和(2)式中的 T_s 是输入码元宽度。

系统总的传输函数为 $H_1(j\omega)$ 与 $H_2(j\omega)$ 之积,即

$$H(j\omega) = \begin{cases} 2T_s \cos(\omega T_s/2) \cdot \exp(-j\omega T_s/2), & |\omega| \leq \pi/T_s \\ 0, & |\omega| > \pi/T_s \end{cases} \quad (3)$$

其单位冲激响应为

$$h(t) = \frac{\sin(\pi t/T_s)}{\pi t/T_s} + \frac{\sin[\pi(t - T_s)/T_s]}{\pi(t - T_s)/T_s} \quad (4)$$

(4)式表明,当输入有连续的“1”码元时,在取样时刻 kT_s , 输出信号的幅度不再是两种电平(0,1),而是三种电平(0,1,2)。

图 1(a) 中,若输入二进制序列 $\{a_k\}$, 相关电平编码器输出具有三电平的序列 $\{b_k\}$, 其关系为

$$b_k = a_k + a_{k-1} \quad (5)$$

解调时对 $m(t)$ 抽样得到 $\{b_k\}$, 从它获得 $\{a_k\}$ 的关系应该为

$$a_k = b_k - a_{k-1} \quad (6)$$

该式表明, a_k 的判决,不仅取决于此时的 b_k ,而且依赖前一码元的判决结果 a_{k-1} , 任何一次错判,将导致后面一系列码元的错误传播。

改进的相关电平编码系统如图 1(b) 所示。它是在相关编码器之前对输入序列 $\{a_k\}$ 进行预处理,产生新的序列 $\{a'_k\}$, 其关系为

$$a'_k = a_k \oplus a'_{k-1} \text{ 或 } a_k = a'_k \oplus a'_{k-1} \quad (7)$$

符号“ \oplus ”表示异“或”。

现在解调时,从 $\{b_k\}$ 序列可以一一对应地恢复 $\{a_k\}$, 即当 $b_k = “1”$ 时,表明 a'_k 和 a'_{k-1} 不同,故 $a_k = 1$; 当 $b_k = “0”$ 或 “2” 时,表明 a'_k 和 a'_{k-1} 相同,故 $a_k = 0$ 。这样,一个码元的误判,不会引起对其后码元判决的影响。图 2 是一二进制序列通过图 1(b) 所示相关电平编码系统的波形。

相关电平编码系统的突出优点是具有较高的频带利用率。由前边分析知道，低通滤波器带宽为 $1/(2T_s)$ ，因此该系统的频带利用率是 $2\text{bit/s} \cdot \text{Hz}$ 。另外，从三电平序列 $\{b_k\}$

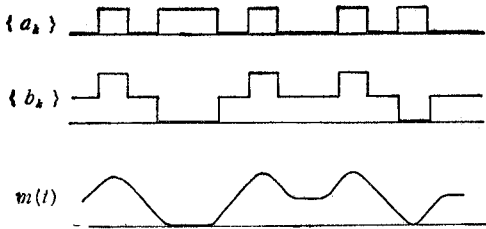


图 2 对应图 1(b) 相关电平编码系统的输入输出波形

中可以看出，相邻码元不能从一种极值电平直接转变到另一种极值电平；两相同极值电平间只能存在偶数个中间电平；两不同极值电平间只能存在奇数个中间电平。这些规律使得数据传输中不加冗余码元便有一定的检错能力。

(2) AM/PSK 调制解调

AM/PSK 调制是用相关电平编码输出对高频载波进行调制形成宽带射频信号。所谓 AM 是指用相关编码输出调制载波振幅；所谓 PSK 是指相关编码输出的两种极值电平分别使调制器产生同相和反相的载波输出。只要把相关编码序列 $\{b_k\}$ 的三种电平(0,1,2)转变为(-1,0,1)，这种相位变化就可在调幅中自动产生。

相关电平编码器后接一个振幅调制器，就构成了 AM/PSK 调制器，图 3 示出了该调制器框图及其调制信号、载波和已调 AM/PSK 信号的时域和频域波形。

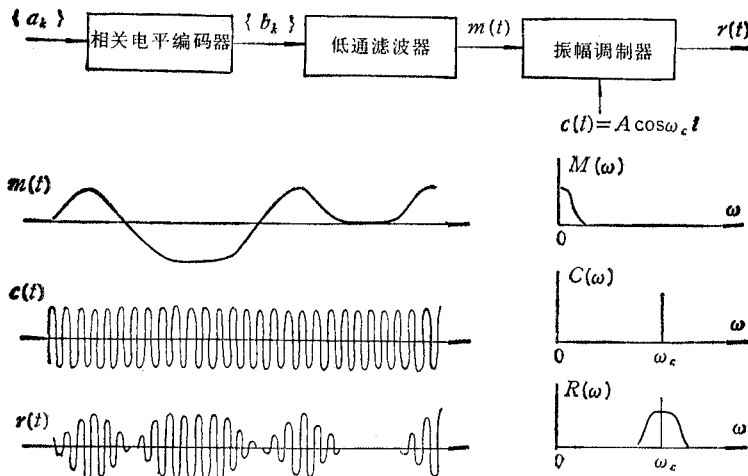


图 3 AM/PSK 调制器框图及其各点时域、频域波形

由于实质上是振幅调制，因而信号的解调技术是成熟的。可以采用相干解调或包络检波方法。后者相对简单，但由于失去相位信息，不能原样恢复 $m(t)$ 和三电平序列 $\{b_k\}$ 。因为包络检波后的波形把 $\{b_k\}$ 中的“-1”和“1”都混合为“1”，幸好它们都对原始输入序列 $\{a_k\}$ 中的“0”。

AM/PSK 是双边带调制，形成的射频信号带宽是基带信号的两倍，因而 AM/PSK 调制信号的频带利用率是 $1\text{bit/s} \cdot \text{Hz}$ ，比二进制 ASK 提高一倍。

3. AM/PSK 调制解调器的硬件实现

根据在 MAP 网络上的应用要求，作者设计并实现了载频分别为 16MHz 和 156MHz 的两种调制器和解调器，现举例对其实现进行介绍。

(1) AM/PSK 调制器 所实现的 16MHz 载频 AM/PSK 调制器由相关电平编码器、载频振荡器、幅度调制器、缓冲放大器、发送控制电路和带通滤波器构成。图 4(a) 是它的完整方框图,图 4(b) 是其核心部分(相关电平编码器和幅度调制器)的全数字实现原理图。调制数据速率是 1Mbit/s。

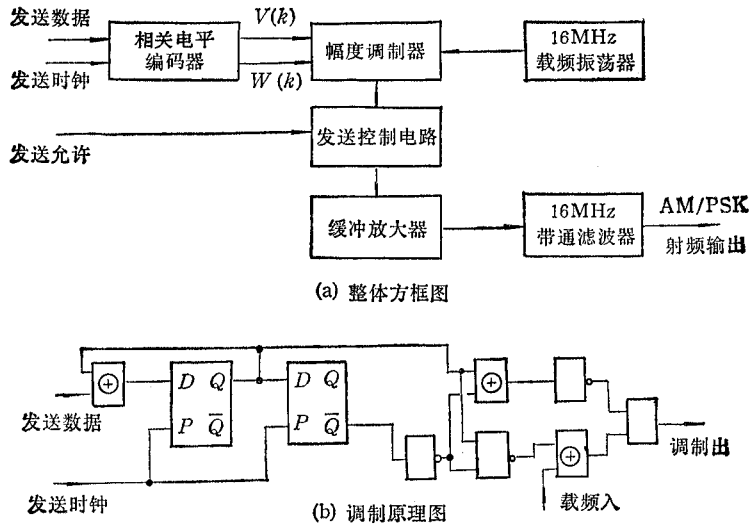


图 4 AM/PSK 调制器

发送数据、发送时钟和发送允许是按照 MAP 标准设计的、与高层发送部分连接的三条信号接口线。相关电平编码器实现输入二进序列的同步相关变换,产生两路输出 $V(k)$ 和 $W(k)$ 。与前节介绍的有所不同,它没有形成三电平信号 $\{b_k\}$,也没有低通滤波器, $V(k)$ 和 $W(k)$ 都是二进制序列,并按下列规则控制幅度调制器的载频输出:(a) $V(k) = "1"$,幅度调制器同相输出高频载波;(b) $W(k) = "1"$,幅度调制器反相输出高频载波;(c) $V(k) = W(k) = "0"$,幅度调制器无载波输出;(d) 相关电平编码器确保 $V(k)$ 和 $W(k)$ 不同时为“1”,从而实现了 AM/PSK 调制。

发送控制电路在“发送允许”信号的控制下,实现“允许”和“禁止”发送的功能;缓冲放大器用来实现阻抗匹配和达到合适的发送电平。由于调制前没有基带滤波,并且采用全数字电路的实现方法,最后是靠高频带通滤波器来获得图 3(b) 所示的已调波时域波形

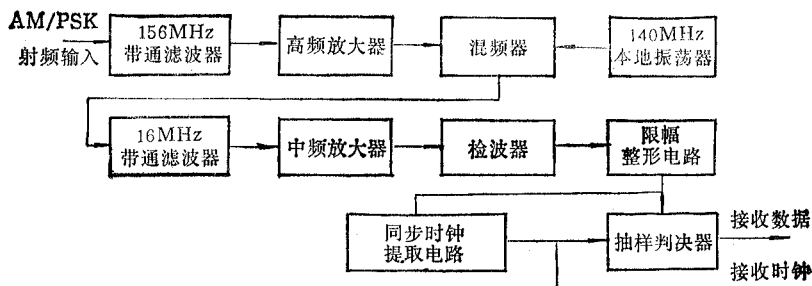


图 5 AM/PSK 解调器整体方框图

和频谱的。

(2) AM/PSK 解调器 AM/PSK 解调器用来从已调 AM/PSK 信号中恢复原始二进制数据,图 5 是工作在 156MHz 载频上的 AM/PSK 解调器方框图。

该解调器接收 156MHz 载频的 AM/PSK 已调信号,首先通过中心为 156MHz 的带通滤波器去除带外杂波,然后经高频放大器达一定电平后进入混频器。本地振荡器振荡频率是 140MHz。混频的中频输出由中心为 16MHz 的带通滤波器取出。该信号经中频放大器和检波器,便得到与原始二进制数据序列相对应的连续信号波形。该波形进入限幅整形电路输出不严格等宽的二进制脉冲,还需经时钟提取电路和抽样判决器得到解码的原始二进制数据。该数据连同恢复的同步接收时钟一起送给上层接口设备。

AM/PSK 解调器中实现比较复杂的是同步时钟提取电路,它是由高速 TTL 集成电路构成的全数字锁相环。选取 24MHz 的参考振荡器,以 24 分频方式从 1Mbit/s 的数据中提取时钟,可以把相位抖动减少到 ±5% 以内。其它电路(放大器、混频器、检波器等)在许多资料中介绍较多,故不赘述。

(3) AM/PSK 调制解调器的性能 AM/PSK 调制的实质是相关电平编码加振幅调制。相关电平编码的结果导致振幅调制过程中产生载波相位的变化,所带来的最大好处是提高频带利用率。

AM/PSK 系统的频带利用率是 1bit/s · Hz,比二进制振幅键控(OOK)系统提高一倍(节省一半频带宽度),但其误码率性能和 OOK 系统是相同的。在窄带高斯噪声环境下,若采用相干解调,则

$$P_e = (1/2)\text{erfc}(\sqrt{\gamma}/2) \tag{8}$$

若采用包络检波,则

$$P_e = (1/4)\text{erfc}(\sqrt{\gamma}/2) + e^{-\gamma/4}/2 \tag{9}$$

(8)和(9)式中,γ是输入信号噪声比,erfc(·)是互补误差函数。

所设计的 AM/PSK 调制解调器,采用包络检波方法进行解调。在典型的实验网络(参见下节)中,接收信号频带(1.5MHz 带宽)内噪声电平为 -48dBmV,在 IEEE 802.4 规范建议的接收信号电平(-16~4dBmV)下,测得的误码率 $P_e \leq 10^{-9}$ 。

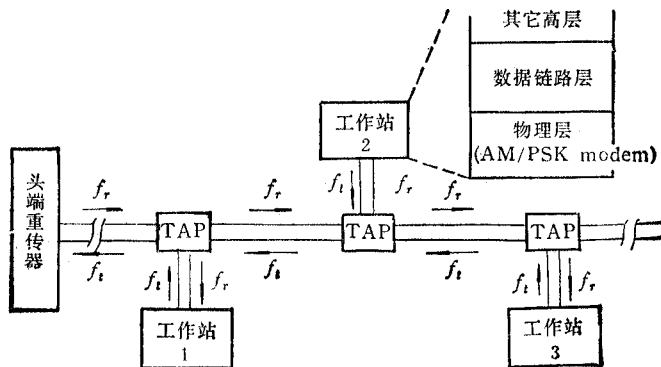


图 6 AM/PSK 调制解调器实现宽带 MAP 连网

4. AM/PSK 调制解调器在 MAP 网上的典型应用

MAP 是国际标准化组织 (ISO) 的开放系统互连 (OSI) 网络协议的子集, 因而符合 ISO 的 OSI 网络参考模式, 它也有应用、表达、会话、传输、网络、数据链路和物理七层。利用所实现的 AM/PSK 调制解调器可以构成 MAP 网络物理层实现宽带计算机连网, 如图 6 所示。

发送工作站把数据调制在 16MHz 载频 f_c 上进行发送, 头端重传器 (特殊的 MAP 网设备) 的调制解调器将其接收, 经解调处理后重新调制到 156MHz 载频 f_c 上送到接收工作站, 接收工作站按照地址识别进行解调接收。

作者利用所实现的调制解调器在 2km 距离范围内成功地进行了三台计算机工作站的实验宽带 MAP 连网。大量的文件传送和干扰测试表明, 该调制解调器性能可靠。它的研制成功和应用将为我国未来工业环境计算机连网开辟一条新途径。

参 考 文 献

- [1] A. Lender, *IEEE Spectrum*, 3 (1966) 2, 104—115.
- [2] IEEE Project 802, 'Token-passing Bus Access Method and Physical Layer Specifications, (1984).
- [3] R. Crowder, *Control Engineering*, 32 (1985) 11, 22—25.
- [4] 王光兴, 王越先, 张振川, 双二进制相关电平编码与 AM/PSK 调制, *东北工学院学报*, 11(1990)3, 260—265.

A NOVEL BROADBAND MODEM USED IN MAP NETWORKS

Zhang Zhenchuan Zhu Zhiliang Wang Guangxing

(Northeast University of Technology, Shenyang 110006)

Abstract A novel broadband modem with high performances suitable for MAP (manufacturing automation protocol) network is introduced. It uses the AM/PSK technique. The design is new and considers not only the related international standards but also the user's requirements. The modem can complete all the physical layer performances of the broadband MAP network and has been used for single-cable broadband MAP networking successfully.

Key words Modem; Correlative level coding; AM/PSK modulation; Manufacturing automation protocol (MAP)