

某引信通信 2FSK 调制解调方法

周 浩, 霍智杰

(海军工程大学 兵器工程系, 武汉 430033)

摘要: 某电子时间引信的装定过程本质上是数字信息通信过程, 信号的调制和解调是其重要环节。在分析二进制频移键控(2FSK)的原理基础上, 研究了其调制及相干解调方法, 利用 Matlab 对该调制、解调过程进行了仿真分析, 得出在高斯白噪声条件下相干解调方法的误码率。仿真结果表明, 所要调制的基带信号波形与所得解调信号波形一致, 验证了调制解调计算方法的正确性。

关键词: 引信通信; 2FSK 调制; 相干解调; 误码率

本文引用格式: 周浩, 霍智杰. 某引信通信 2FSK 调制解调方法[J]. 四川兵工学报, 2014(6): 91-93.

中图分类号: TN911.3

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2014)06-0091-04

Analysis on 2FSK Modulation and Demodulation Method in Fuze Communication

ZHOU Hao, HUO Zhi-jie

(Department of Weaponry Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: New electronic time fuze setting is essentially a digital communication process which involves modulation and demodulation of information. On the basis of analysis on theoretical principle of Binary Frequency Shift Keying (2FSK), the essay gives insight into the modulation and coherent demodulation method, and simulations are undertaken aided by Matlab program. Error rate of coherent demodulation method is obtained in the presence of white Gaussian noise. Simulation results show that the baseband signal waveform is identical to the demodulation signal waveform, which verifies the validity of the modulation and demodulation method.

Key words: fuze communication; 2FSK modulation; coherent demodulation; error rate

Citation format: ZHOU Hao, HUO Zhi-jie. Analysis on 2FSK Modulation and Demodulation Method in Fuze Communication[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2014(6): 91-93.

某电子时间引信设定单元与引信之间的通讯是通过信号的编码、调制、传输、解调、解码和识别等过程完成的。本文主要研究二进制频移键控(2FSK)调制解调方法。调制是在发送端对信源产生的基带信号进行一定的变换以使其适合信道传输,而在接收端将调制信号还原为原始基带信号的过程称为解调。频移键控(FSK)利用载波的频率变化来传递数字信息,即用所传送的数字信息控制载波的频率,而幅度和相位保持不变。二进制频移键控记作 2FSK。在 2FSK

中,符号“1”对应于载波频率 ω_1 ,符号“0”对应于载波频率 ω_2 ($\omega_1 \neq \omega_2$) 的已调波形,且已调波在 ω_1 和 ω_2 之间的转变是瞬时完成的。2FSK 的抗衰落和抗噪声性能好且传输距离远,广泛应用于低、中速数据传输^[1]。

1 2FSK 信号的表示及调制

在 2FSK 系统中,载波的频率随二进制基带信号在 ω_1 和

ω_2 2 个频率点之间变化,而振幅和初始相位不变。其表示式为

$$e_{2FSK}(t) = \begin{cases} A\cos(\omega_1 t + \varphi_n) & \text{发送1时} \\ A\cos(\omega_2 t + \theta_n) & \text{发送0时} \end{cases} \quad (1)$$

式中:假设第 n 个码元的初始相位分别为 φ_n 和 θ_n ; ω_1 和 ω_2 ($\omega_1 \neq \omega_2$) 分别为 2 个码元的角频率^[2]。

用键控法可以产生 2FSK 信号,即用数字矩形脉冲电子控制开关在 2 个振荡器之间进行选通,使其在每一个码元期间输出 2 个载波 f_1 或 f_2 之一,如图 1 所示。键控法产生的 2FSK 信号波形如图 2 所示,由于分别由 2 个独立的频率源产生 2 个不同频率的信号,故相邻码元间的相位是不连续的。

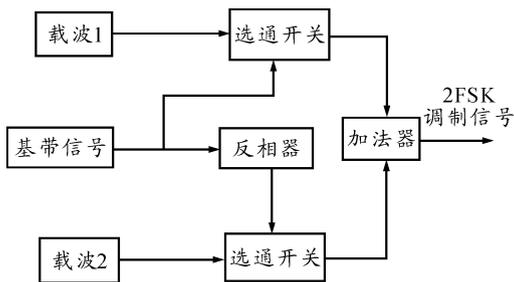


图1 2FSK信号产生原理

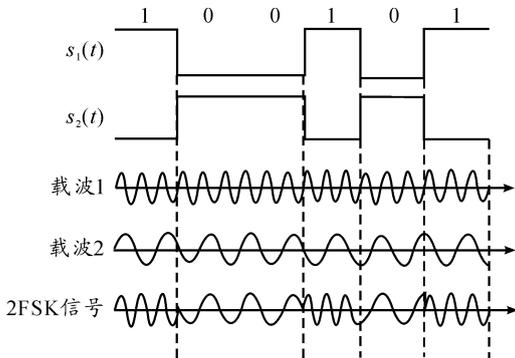


图2 2FSK信号时域波形

由键控法原理可知,相位不连续的2FSK信号可看成不同频率交替发送的2个2ASK信号之和,即

$$e_{2FSK}(t) = s_1(t)\cos(\omega_1 t + \varphi_n) + s_2(t)\cos(\omega_2 t + \theta_n) = \left[\sum_n a_n g(t - nT_s) \right] \cos(\omega_1 t + \varphi_n) + \left[\sum_n \bar{a}_n g(t - nT_s) \right] \cos(\omega_2 t + \theta_n) \quad (2)$$

其中: $g(t)$ 为脉宽为 T_s 的矩形脉冲; a_n 表示第 n 个符号的电平取值, \bar{a}_n 为 a_n 的反码。

式(2)中,初始相位 φ_n 和 θ_n 不携带信息,通常可令 φ_n 和 θ_n 为零,则式(2)可简化为

$$e_{2FSK}(t) = s_1(t)\cos\omega_1 t + s_2(t)\cos\omega_2 t = \left[\sum_n a_n g(t - nT_s) \right] \cos\omega_1 t + \left[\sum_n \bar{a}_n g(t - nT_s) \right] \cos\omega_2 t \quad (3)$$

利用 Matlab 程序进行仿真,得到调制仿真波形如图 3 所

示。由图 3 可以看出,发送的基带码为“1010110010”,它与载波 1 相乘,其反码与载波 2 相乘,2 部分叠加之后得到了相位不连续的调制信号波形。

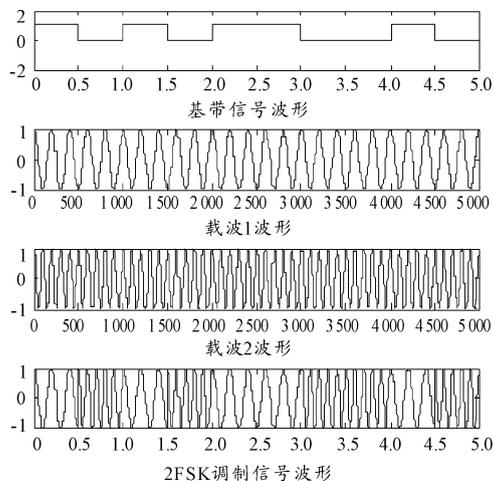


图3 2FSK调制仿真真波形

2 2FSK 信号的解调

2FSK 信号常用的解调方法有相干解调和非相干解调法。本文主要研究相干解调方法^[3],其原理如图 4 所示。

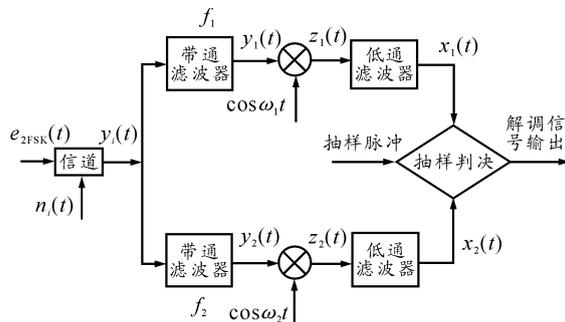


图4 2FSK相干解调原理

设“1”对应于载波频率 ω_1 ，“0”对应于载波频率 ω_2 ,在一个码元持续时间 T_s 内, e_{2FSK} 信号可表示为

$$e_{2FSK}(t) = \begin{cases} A\cos\omega_1 t & \text{发送1时} \\ A\cos\omega_2 t & \text{发送0时} \end{cases} \quad (4)$$

在 $(0, T_s)$ 内,信道内加入噪声后的合成波形 $y_i(t)$ 为

$$y_i(t) = \begin{cases} KA\cos\omega_1 t + n_i(t) & \text{发送1时} \\ KA\cos\omega_2 t + n_i(t) & \text{发送0时} \end{cases} \quad (5)$$

式中: $n_i(t)$ 为加性高斯白噪声,其均值为0; K 为常数,它表示信号幅度 A 经信道衰减后的系数。

在图 4 中,2 个带通滤波器起分路作用,以上支路为例,带通滤波器 f_1 只允许中心频率为 f_1 的信号成分通过同时滤除中心频率为 f_2 的信号成分。带通滤波器的输出为

$$y_i(t) = \begin{cases} KA\cos\omega_1 t + n_1(t) & \text{发送1时} \\ n_1(t) & \text{发送0时} \end{cases} \quad (6)$$

其中 $n_i(t)$ 为高斯白噪声 $n_i(t)$ 经带通滤波器后的输出噪声(窄带高斯噪声),其均值为 0。将噪声 $n_i(t)$ 表示为同相分量 $n_{1c}(t)$ 与正交分量 $n_{1s}(t)$ 的形式^[4],则式(6)可表示为

$$y_1(t) = \begin{cases} [a + n_{1c}(t)] \cos\omega_1 t - n_{1s}(t) \sin\omega_1 t & \text{发送 1 时} \\ n_{1c}(t) \cos\omega_1 t - n_{1s}(t) \sin\omega_1 t & \text{发送 0 时} \end{cases} \quad (7)$$

式中 $a = KA$ 为信号接收幅度。

$y_1(t)$ 与相干载波 $\cos\omega_1 t$ (同频同相) 相乘后,利用积化和差公式,化简并整理得

$$z_1(t) = \begin{cases} [\frac{a}{2} + \frac{n_{1c}(t)}{2}] (1 + \cos 2\omega_1 t) - \frac{n_{1s}(t)}{2} \sin 2\omega_1 t & \text{发送 1 时} \\ \frac{n_{1c}(t)}{2} (1 + \cos 2\omega_1 t) - \frac{n_{1s}(t)}{2} \sin 2\omega_1 t & \text{发送 0 时} \end{cases} \quad (8)$$

经低通滤波器之后,2 倍频成分被滤除,只有低频成分通过

$$x_1(t) = \begin{cases} \frac{a}{2} + \frac{n_{2c}(t)}{2} & \text{发送 1 时} \\ \frac{n_{2c}(t)}{2} & \text{发送 0 时} \end{cases} \quad (9)$$

同理,可得下支路的输出为

$$x_2(t) = \begin{cases} \frac{n_{2c}(t)}{2} & \text{发送 1 时} \\ \frac{a}{2} + \frac{n_{2c}(t)}{2} & \text{发送 0 时} \end{cases} \quad (10)$$

$x_i(t)$ 经判决器后得到解调信号输出,若 $x_1(t) > x_2(t)$ 则判决输出“1”,若 $x_1(t) < x_2(t)$ 则判决输出“0”^[5]。

利用 Matlab 程序进行仿真,得到解调仿真波形如图 5 所示。由图 5 可见,得到了较为理想的相干解调波形,从而也验证了算法的正确性。

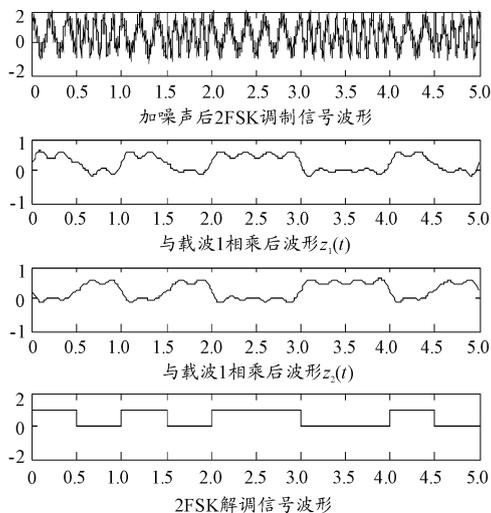


图 5 2FSK 相干调解仿真波形

3 2FSK 误码率分析

$(0, T_s)$ 内发送“1”,则由式(9)和式(10)可得

$$x_1(t) = a + n_{1c}(t) \quad (11)$$

$$x_2(t) = n_{2c}(t) \quad (12)$$

$x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 抽样值的概率密度为

$$f_1(x_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} \exp\left(-\frac{(x_1 - a)^2}{2\sigma_n^2}\right) \quad (13)$$

$$f_2(x_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} \exp\left(-\frac{x_2^2}{2\sigma_n^2}\right) \quad (14)$$

当 $x_1(t)$ 的抽样值小于 $x_2(t)$ 的抽样值时,判决器输出“0”,即将“1”误判为“0”,其概率 $P(0/1)$ 为

$$P(0/1) = P(x_1 < x_2) = P(a + n_{1c}(t) - n_{2c}(t) < 0) \quad (15)$$

令 $z = a + n_{1c}(t) - n_{2c}(t)$, 由于 $n_{1c}(t)$ 和 $n_{2c}(t)$ 在同一时刻相互独立,且都是均值为零、方差为 σ_n^2 的高斯型随机变量,故 z 在任意时刻也为高斯型随机变量,其均值为 a , 方差为 $\sigma_z^2 = 2\sigma_n^2$, 概率密度 $f(z)$ 为

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left(-\frac{(z - a)^2}{2\sigma_z^2}\right) = \frac{1}{2\pi\sigma_n} \exp\left(-\frac{(z - a)^2}{4\sigma_n^2}\right) \quad (16)$$

进而可得

$$P(0/1) = P(z < 0) = \frac{1}{2\pi\sigma_n} \int_{-\infty}^0 \exp\left(-\frac{(z - a)^2}{4\sigma_n^2}\right) dz = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{r}{2}}\right) \quad (17)$$

其中 $r = \frac{a^2}{2\sigma_n^2}$ 为信道中的信噪比^[6]。同理可得,发送“0”误判为“1”的概率为

$$P(1/0) = P(x_1 > x_2) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{r}{2}}\right) \quad (18)$$

于是采用相干解调时,误码率为

$$P_e = P(1)P(0/1) + P(0)(1/0) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{r}{2}}\right) \quad (19)$$

利用 Matlab 编程,绘出误码率 P_e 与信噪比 r 的关系曲线如图 6^[7]。由图 6 可以看出,当其他参数一定时,信道中信噪比增大,误码率会随之下降。

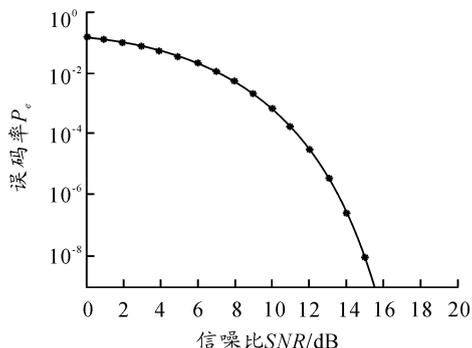


图 6 误码率与信噪比关系

为便于分析,取式(9)和式(10)中的系数为 1,假设在

(下转第 97 页)

表1 试验数据及理论计算值

	自由场传感器		壁面传感器	
	理论值	试验值	理论值	试验值
超压/MPa	0.114 1	0.111 4	0.031 4	0.028 5
正压区作用时间/ μs	488 ~ 563	420	691 ~ 797	—

6 结束语

本文引入无线传感器网络技术,研制应用于冲击波场超压测试的无线传感器节点,此类节点安装非常方便,适合在冲击波实验场或建筑物内部大量铺设。试验证明,该系统性能可靠,测量精度高,提高冲击波测试数据的准确性、信息的完整性和可靠性,显著减少试验次数。

参考文献:

- [1] 孙利民,李建中. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [2] 颜澎,王少龙. 一种改进的爆炸超压测试与威力评估方法[J]. 测试技术学报,2008(6):510-515.

- [3] 李战明,李泉. 基于 ZigBee 的环境监测无线传感器网络节点设计[J]. 电子测量技术,2010(6):118-122.
- [4] 张瑞华,袁东风. 嵌入式无线传感器网络节点的设计[J]. 计算机工程,2007(6):283-284.
- [5] Heinzelman W. Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks[D]. USA:Massachusetts Inst.,2000.
- [6] 孙利民,李建中,陈渝. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [7] 张智广,郭忠文. 无线传感器网络中基于分簇的自适应介质访问控制协议[J]. 计算机应用,2006(11):2528-2530.
- [8] 姜华,袁晓兵. 无线传感器网络分簇网络中 MAC 协议的研究[J]. 计算机应用研究,2007(3):265-266.
- [9] 王晓东. 无线传感器网络节能算法研究[D]. 杭州:浙江大学,2007.
- [10] 侯利军,王殊,汪安民. IDT72V2113 在高速数据采集系统中的应用[J]. 世界电子元器件,2004(1):70-72.
- [11] 郭玉斌,田宇隆,张斌. 地下建筑内爆炸冲击波荷载分布规律研究[J]. 武汉理工大学学报,2012,(09):88-93.

(责任编辑 杨继森)

(上接第 93 页)

4 结束语

针对某引信通信中的 2FSK 调制解调,剖析其解算过程,利用 Matlab 进行了仿真,仿真波形与理论分析一致从而验证了解算算法的正确性。在高斯白噪声条件下,对采用相干解调的误码率进行了计算并得出误码率—信噪比关系曲线。本文为某引信通信中 2FSK 调制解调模块的设计提供思路和指导方法。

参考文献:

- [1] 陈华鸿. 频移键控(FSK)及其最新应用[J]. 现代计算机,2009(9):36-39.

- [2] 苏雪,马光善. 2FSK 调制解调系统的 MATLAB 实现[J]. 玉林师范学院学报:自然科学版,2013,34(2):48-51.
- [3] 粟向军,赵娟. 通信原理[M]. 北京:清华大学出版社,2011.
- [4] 潘辉. 基于 SystemView 的 2FSK 信号相干解调系统仿真[J]. 信息技术,2012(2):133-136.
- [5] 曹成茂. 引信与武器系统信息交联中的遥控装定技术研究[D]. 南京:南京理工大学,2005.
- [6] 俞鹤伟,赖声礼,余爱民,等. 正交频分复用系统的误码率分析[J]. 通信技术,2003(8):9-11.
- [7] 张志德,林霖. 基于 Simulink 仿真的数字调制系统性能分析[J]. 现代电子技术,2009(21):118-120.

(责任编辑 杨继森)