

用 MATLAB 实现 GMSK 信号的产生与解调

杨允军 武传华 电子工程学院 合肥 230037

摘要 采用正交调制的方法,在 MATLAB 环境下用 Simulink 组件产生了射频 GMSK 信号。编写 m 文件实现 1 bit 差分解调算法,对产生的信号进行解调,得到较好的结果。为验证该算法的正确性,还采集了信号源的射频 GMSK 信号数据,在已知采样速率、信息码速率的条件下进行解调,针对采样起始时刻的不确定性,还添加了判断信息数据跳变时刻的代码,也取得了满意的解调效果,说明该算法具有一定的实用性。

关键词 GMSK MATLAB 正交调制 解调

中图分类号 TN912/4 **文献标识码** A

1 引言

GMSK(高斯滤波最小移频键控)调制作作为一种连续相位的恒包络调制,具有带外辐射小、频谱利用率高的特点,在通信中获得了广泛应用,GSM 系统中是 $BT = 0.3$ 的 GMSK 调制^[1]。在军事通信中,GMSK 调制与跳频通信相结合,利用 GMSK 的恒包络、频谱利用率高的特性以及跳频通信的抗干扰、抗截获特性,可以实现军事通信中的高速、安全数据传输^[2]。GMSK 信号的产生与解调,是通信中不可回避的话题。MATLAB 作为一种功能强大的数值分析和仿真软件,编程语言接近自然语言,Toolbox 自带函数覆盖面广,在通信信号分析中占有重要的地位。本文采用正交调制的方法,在 MATLAB 中产生 GMSK 信号,并编写算法实现解调,为了验证算法的正确性,还录取了信号源的数据进行解调,也取得了良好的解调效果。

2 GMSK 信号的产生

GMSK 信号的产生用到了 MATLAB 中 Simulink 组件中的基带 GMSK 产生模块^[3],不采用中频 GMSK 产生模块是为了便于该系统功能的扩展和模块化设计。为了产生中频信号的 GMSK 信号,在基带 GMSK 信号的基础上,采用正交调制,将基带 GMSK 搬移到中频上来。

Simulink 组件中的基带 GMSK 产生模块的输入为双极性码或二进制码,本文采用的是双极性码;输出为同相分量 $g_c(t)$ 和正交分量 $g_s(t)$ 两路信号。根据正交调制原理,分别乘以中频载波的

余弦和正弦后相减,得到正交调制的中频 GMSK 信号^[4]。

$$g(t) = g_c(t)\cos 2\pi f_c t - g_s(t)\sin 2\pi f_c t \quad (1)$$

在文献[1]中,GMSK 信号的表达式写成:

$$x(t) = \cos[\varphi(t)]\cos 2\pi f_c t - \sin[\varphi(t)]\sin 2\pi f_c t \quad (2)$$

式中, $\varphi(t)$ 是相位路径。 $g_c(t) = \cos[\varphi(t)]$, $g_s(t) = \sin[\varphi(t)]$ 分别是正交调制中的同相分量和正交分量。根据上述原理,由基带数据产生、GMSK 调制、载波产生、正交调制和数据保存等几个单元可以产生中频 GMSK 信号。如果将载波产生单元用一个伪随机值序列单元代替,就可以实现 FH-GMSK 信号的产生,从而实现功能的扩展。

3 GMSK 信号的解调

GMSK 信号的解调方法有相干解调和差分解调。相干解调使用 Costas 环,基本原理是对信号进行载波提取,和正交两路信号混频滤波后在基带恢复数据。该方法被广泛应用于 PSK、DS 等信号的解调,特别适合用于要求简单、小型化的移动无线通信终端中。GMSK 信号的差分解调原理是将其中一路数据经过时延后,和另一路信号相乘,再进行低通滤波,抽样判决恢复数据。GMSK 信号的差分解调方法有 1 bit 差分 and 2 bits 差分解调,本文采用的是 1 bit 差分解调。

信道噪声取高斯白噪声,写成等效低通形式:

$$n(t) = n_c(t)\cos[2\pi f_c t + \varphi(t)] + n_s(t)\sin[2\pi f_c t + \varphi(t)] \quad (3)$$

收稿日期:2004 年 12 月 15 日

考虑信号的功率 S 和噪声 $n(t)$, 式(2)变为:

$$x(t) = \sqrt{2S} \cos[2\pi f_c t + \varphi(t)] + n(t) = R(t) \cos[2\pi f_c t + \varphi(t) + \eta(t)] \quad (4)$$

式中, $R(t)$ 表示振幅大小, 恒为正; $\eta(t)$ 表示噪声对信号相位的影响。1 bit 差分分解调时, 正交信号经过 T_b 时延 (T_b 表示信息码元宽度) 后与同相支路信号相乘, 低通滤波后得到:

$$y(t) = \frac{1}{2} R(t) R(t - T_b) \sin[2\pi f_c T_b + \Delta\Phi(T_b)] \quad (5)$$

式中, $\Delta\Phi(T_b) = \phi(t) - \phi(t - T_b) + \eta(t) - \eta(t - T_b)$ 表示相位路径在 1 bit 信息码元内的变化。

调制信号一般满足 $f_c = k/T_b$, 即载波频率为信息码元频率的整数倍。为了更明确地说明解调原理, 忽略噪声的影响, 式(5)变成:

$$y(t) = \frac{1}{2} R(t) R(t - T_b) \sin[\Delta\Phi(T_b)] \quad (6)$$

因为 $R(t) R(t - T_b)$ 为正, 所以判决完全由 $\sin[\Delta\Phi(T_b)]$ 确定: 忽略噪声的影响, $\sin[\Delta\Phi(T_b)] < 0$, 说明相位减小, 判决为 0; $\sin[\Delta\Phi(T_b)] > 0$, 说明相位增大, 判决为 1。因此, 由 $y(t)$ 就可以恢复信息码元, 这也是 1 bit 差分分解调的理论依据。根据上述推导, 列出算法流程图如图 1 所示。

参数预置部分: 信息码元速率 f_b , 中频载频 f_c , f_s 为采样率, 在程序中也就是信号数据的输出速率。需要说明 1 bit 差分分解调对 f_c 没有要求, 本文设置这个参数的目的是方便功能扩展, 以便在已知跳频频率集的基础上, 对 FH-GMSK 进行解调。

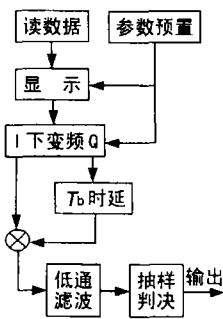


图 1 GMSK 1 bit 差分分解调流程图

下变频单元包括混频和低通滤波部分。文献[1]指出, 对于 $BT = 0.3$ 的 GMSK 信号, 单边带宽 $B_{\text{single}} = f - f_c$, 取 $2 * f_b$ 可以包含 99% 的功率, 所以当低通滤波器的通带取 $2 * f_b$ 时, 滤波器造成的失真可忽略。解调程序中, 滤波器设计函数采用 butter。

T_b 延时单元: 根据预置的参数求得每一个码元内包含的数据点数 $\text{PointperSymbol} = f_s/f_b$ 。将正交支路数据向后推移 PointperSymbol 个数据点, 再和同相支路数据进行相乘, 就可以实现 T_b 时

延。

抽样判决: 根据上面的推导, 同相支路数据和经过 T_b 时延的正交支路数据相乘后得到一组数据, 低通滤波后输出为 Dat_ProFilter , 对该数据在每一个码元宽度内 ($N * \text{PointperSymbol} \sim (N + 1) * \text{PointperSymbol}$) 进行抽样判决。根据式(6), 对判决点的数值取 sign 函数, 就可以解调出信息码元。但是上述判决法对噪声比较敏感, 稳健性欠佳。为了减小随机噪声的影响, 增加算法的稳健性, 程序中采用的方法是: 在每一个码元宽度内均匀取 7 个点, 求和后取 sign 函数进行判决。

相对于 Simulink 产生的模拟数据, 采集的信号源数据的第一个码元的起始时刻不能确定, 所以对信号源数据解调时, 为了正确选取判决点位置, 还要正确判断第一个码元的出现时刻。假设数据速率已知且恒定, 因此只要求得第一个跳变时刻, 根据已知的码元速率, 就可以计算得到后续的跳变时刻。在确定跳变时刻时, 采取了一个简明但有效的方法: 对式(6)产生的数据加长度为 PointperSymbol 、步长为 DeltaT 的滑动窗进行积分, 最小值出现的时刻就是跳变时刻。理论上说, 这种方法对跳变点精度的估计可以达到 DeltaT/f_s 。

由于信息码元可能存在连续“0”或连续“1”, 所以信号源数据中出现的第一个跳变点有可能并不是第一个码元的起始时刻, 但是可以肯定, 该跳变点出现的时刻相对于第一个码元出现的时刻的时延是 PointperSymbol 的整数倍, 由此, 可以求出第一个码元的起始时刻。

解调过程中, 没有采用 MATLAB 自带的 ddemod 函数, 而是编写函数进行解调。仿真表明, 不论是按上述方法产生的模拟数据, 还是信号源

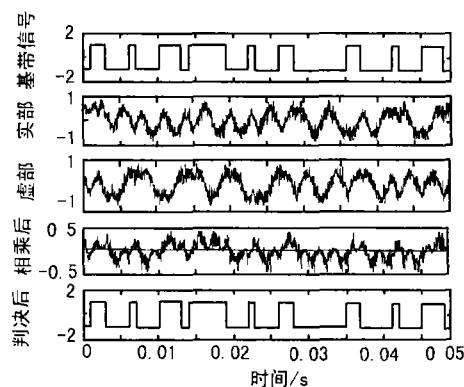


图 2 模拟数据产生与解调

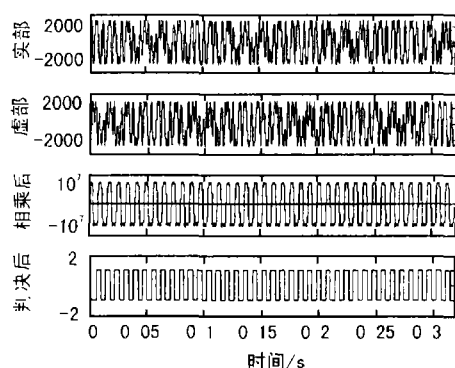


图3 信号源数据解调

数据,解调算法都能取得满意的效果。图2给出了计算机产生的信噪比为5 dB的GMSK模拟数据及其解调出的信息码元。图3给出了信号源数据在信噪比为5 dB时的解调情况。可以看出,无论是模拟数据还是信号源数据,该解调算法都有较好的解调效果。

4 结束语

MATLAB作为一种功能强大的数值分析和信号仿真软件,可以为信号分析以及系统的前期仿

真提供很大的帮助。本文遵循模拟数据→信号源数据→实际数据的原则,在Simulink组件中产生GMSK信号,编写函数,采用1 bit解调算法对GMSK信号进行解调。在模拟数据层次和信号源数据层次,该解调算法都取得了满意的效果,为实际数据的解调打下了基础,具有一定的实用价值。✦

参考文献

- [1] 郭梯云. 数字移动通信[M]. 北京:人民邮电出版社, 2000.
- [2] LAM Y M, WITTKE P H. Frequency - Hopped Spread - Spectrum Transmission with Band - Efficient Modulations and Simplified Noncoherent Sequence Estimation [J]. IEEE Transactions on Communications, 1990, 38 (12): 2184 ~ 2196.
- [3] 姚俊. Simulink建模与仿真[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2002.
- [4] 杨小牛. 软件无线电原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2001.

作者简介

杨允军 男, (1979~), 电子工程学院2002级硕士研究生。研究方向:扩频频谱侦察解调。

武传华 男, (1963~), 电子工程学院副教授。研究方向:通信侦察、信号处理。

(上接第11页)

步是扩频接收机的关键技术。

本系统采用的是匹配相关器对伪码进行捕获,当连续捕获到两个同步码时,系统才获得同步,本系统伪码跟踪采用的是正负相位相差法,即将本地伪码超前和滞后1/3个码片宽度,再分别与接收信号进行相关运算,并将两相关值相减,进而根据差值的符号对本地伪码相位进行细调,每次调整的大小为 $\pm 1/6$ 个码片,其原理是采用DPLL的设计思想。最终达到的跟踪精度为 $\pm 1/6 T_c$ 。

系统从同步跟踪转换为失步时,一般需连续观察好几个伪码周期,这是为了防止噪声或干扰引起的偶然的假失步,当同步监测器的输出信号连续低于门限的次数累计达到规定值后,才认为系统已失步,需重新进行捕获和跟踪。

3 结束语

具体实现应该注意的问题有:①PN码的选择至关重要,必须保证自相关性好和互相关性差的性能;②采样数/chip要根据具体要求结合硬件资源制定;③DMF的实现是并行计算的,需要占用

大量的硬件资源,设计时,优化结构有两种方案:一种是提高整体系统频率,以传输更高的数据率;另一种是降低硬件开销;④捕获的门限电平值的设定非常重要,门限过高,当信噪比较小、误码率较高时,会造成漏同步,过低,则会造成误同步。

根据上面所述的方案,在单片FPGA上,实现了4进制的直接序列扩频,扩频码长为32 bit,数据最大速率可达600 kbps以上,另外并把发送和接收FIFO以及交织纠错编码完全整合于其中,外加一片C8051F120高速单片机,完成了整个基带板的设计,并经过实际的测试与应用得到了验证,符合设计指标,满足某型无人机的技术要求。✦

参考文献

- [1] 郭南,何旭.多进制直扩及数字实现技术研究[J].电子科技大学学报,1996,25(12):330~332.
- [2] 李栋.多进制扩频系统的关键技术的研究[D].西安:西安电子科技大学,2001:87~96.
- [3] 谭爽,张晓林,匡魏.中频数字化扩频接收机IC设计与实现[J].遥测遥控,2002,23(5):27~31.

作者简介

熊小军 男, (1978~), 北航硕士生。主要研究方向:无线通信、扩频通信以及信道编码等。

韦志棉 女, 北航无人机所研究员。主要研究方向:无人飞行器测控技术的研究。