

The Research and Simulation of the GMSK Modulation System Based on Hamming Encoding

Yu-Qin Huang^{1,2}, Xue-Mai Gu²

1. Harbin Institute of Technology, Institute of Electronic and Information Technology, Harbin 150001, China;

2. School of Electronics and Information Engineering, Heilongjiang Institute of Science and Technology, Harbin 150027, China;

1. e-mail jixihyq@163.com, 2. e-mail guxuemail@hope.hit.edu.cn

Abstract: Through studying the performance of the GMSK modulation in different BT value, the causes is presented that effect the bit-error rate of the GMSK modulation system in different BT value. Without altering the system bandwidth, the encoding is introduced which would correct the error code to the GMSK modulation system to lower the BER and improving the reliability of the system. In this paper, the model of the GMSK modulation system based on the hamming encoding is proposed. The result of simulation indicates that the GMSK modulation system which adopts the hamming and difference encoding improves the performance of the GMSK modulation system.

Keyword: GMSK; hamming encode; BER; simulation

基于汉明编码的 GMSK 调制研究与仿真

黄玉琴^{1,2}, 顾学迈¹

1. 哈尔滨工业大学 电子与信息技术研究所, 哈尔滨 150001

2. 黑龙江科技学院 电气与信息工程学院, 哈尔滨 150027

1. E-mail jixihyq@163.com, 2. E-mail guxuemail@hope.hit.edu.cn

【摘要】通过对不同 BT 值的 GMSK 调制系统的带宽和误码性能的分析与研究, 给出了影响不同 BT 值调制系统误码性能的主要原因, 在不改变系统带宽的情况下, 将具有纠错性能的编码技术应用到 GMSK 调制系统中, 降低 GMSK 调制系统的误码率, 提高系统可靠性。本文给出了基于编码技术的 GMSK 调制系统的仿真模型, 仿真结果表明, 采用了编码技术的 GMSK 调制系统要比原来的 GMSK 系统有较大的误码性能的提高。

【关键词】高斯最小频移调制; 汉明码; 误码率; matlab 仿真

1 引言

无线频率资源是一个的稀少的, 宝贵的资源, 在人们的生活和生产的各个领域发挥着重要的作用。在无线通信系统中, 频率资源的分配与利用, 决定了无线数字通信系统的容量和规模, 因此, 如何充分利用频谱而又可靠地进行通信是无线数字通信系统领域里一个重要课题。在数字通信系统中, 主要有三种调制方式将信号发送到信道上, 对于无线通信系统, 信道处于一个开放的环境中, 传输的信号受到噪声的干扰后, 信号的幅度发生变化, 因此, 无线通信系统不采用幅度调制, 而是采用频率调制或相位调制以保证信号传输的可靠性。

数字通信系统频率调制可分为相位不连续的 2FSK 信号和相位连续的 2FSK 信号, 相应的表示式为:

$$s_{FSK}(t) = \begin{cases} s_1(t) = A \cos 2\pi f_1 t & \text{“传号”} \\ s_2(t) = A \cos 2\pi f_2 t & \text{“空号”} \end{cases} \quad 0 \leq t \leq T \quad (1)$$

$$s_{FSK}(t) = A \cos[2\pi f_c t + 2\pi K_f \int_{-\infty}^t b(\tau) d\tau] \\ = \operatorname{Re}[v(t)e^{j2\pi f_c t}] \quad (2)$$

其中复包络 $v(t) = Ae^{j\theta(t)}$, $\theta(t) = 2\pi K_f \int_{-\infty}^t b(\tau) d\tau$, K_f 是调频器的频率偏移常数, $b(\tau)$ 是双极性不归零码序列。

连续相位 2FSK 的功率谱密度随着频率 f 偏离中心频率 f_c , 其旁瓣按 $1/f^4$ 衰减, 而相位不连续的 2FSK 的功率谱旁瓣按 $1/f^2$ 衰减, 前者的旁瓣衰减的更快, 所以, 常用连续相位的 2FSK 调制方式。而包络恒定的调制信号可用于丙类放大器, 功放效率高。因此, 在无线通信系统里常常采用高斯最小频移键控 (GMSK) 的连续相位调制方式, 其旁瓣的衰减更快

[1]。

对于 GMSK 调制, 其 BT 值越小, 功率谱的利用率就越高, 但是, 另一方面, GMSK 调制信号的时域码间干扰就越严重, 系统的误码率越高。而编码技术恰恰可以纠正数字系统的误码, 改善数字通信系统的传输质量, 提高数字系统的可靠性。因此, 本文将编码技术应用到 GMSK 调制系统当中, 由于进行信道编码会降低数字通信系统的通信有效性, 这里采用编码简单, 可以达到最高码率的汉明编码, 最后的仿真结果表明, 经过编码的 GMSK 调制系统的可靠性得到了很大的提高。

2 GMSK 调制

GMSK 调制方式的基本原理如下图 1 所示^[1],



Figure 1. The model of the GMSK modulation system

图 1. GMSK 调制的基本模型

该调制方式的关键是在 MSK 调制前加入高斯脉冲形状的低通滤波器 (GLPF)。由于 MSK 信号是相位连续的 2FSK 调制信号, 经过高斯低通滤波器后, 输出信号不仅相位连续, 幅度连续, 而且信号旁瓣衰落得更快, 所占带宽更窄, 提高了系统的容量。

高斯滤波器的传递函数为:

$$H(f) = \exp(-a^2 f^2) \quad (3)$$

高斯滤波器的冲激响应为:

$$h(t) = \frac{\sqrt{\pi}}{a} \exp\left(-\frac{\pi^2}{a^2} t^2\right) \quad (4)$$

图 2, 3 显示了高斯低通滤波器的时域和频域信号的波形。

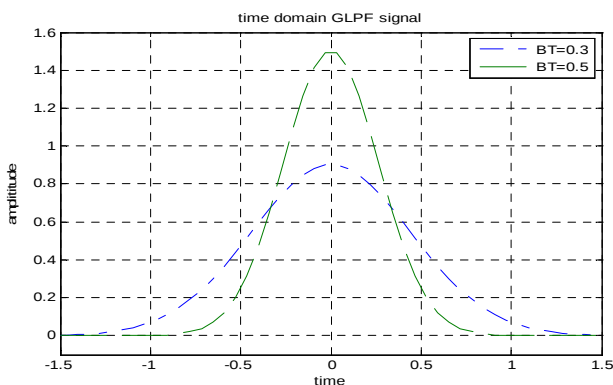


Figure 2. the signal of GLPF in time domain

图 2. 高斯低通滤波器的时域信号

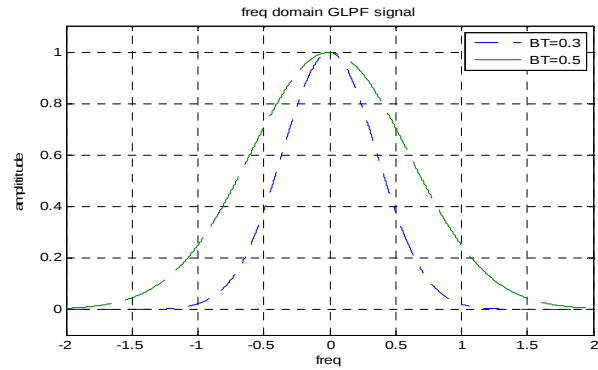


Figure 3. the signal of GLPF in frequency domain

图 3. 高斯低通滤波器的频域信号

从图 2, 3 中可以看到, BT 值越小, 高斯低通滤波器信号在频域所占的带宽越窄, 频率利用率越高, 相反时域的信号时延越长, 对其他信号造成的干扰越大。双极性不归零矩形脉冲序列经过高斯低通滤波器后的输出信号为:

$$g(t) = \frac{1}{2} \left\{ \operatorname{erfc}\left[\frac{2\pi B_b}{2\ln 2} \left(t - \frac{T_b}{2}\right)\right] - \operatorname{erfc}\left[\frac{2\pi B_b}{2\ln 2} \left(t + \frac{T_b}{2}\right)\right] \right\} \quad (5)$$

高斯低通滤波器的输出信号经过 MSK 调制后, 得到 GMSK 的调制信号:

$$s_{\text{GMSK}}(t) = A \cos(2\pi f_c t + \pi \int_{-\infty}^t \sum_{n=-\infty}^n a_n g(\tau) d\tau) \quad (6)$$

函数 $g(t)$ 的积分结果为:

$$\int_{-\infty}^t g(\tau) d\tau = \begin{cases} 0 & t < -\frac{(L-1)T_b}{2} \\ \frac{1}{2T_b} \int_{-\infty}^t g(\tau - \frac{T_b}{2}) d\tau & -\frac{(L-1)T_b}{2} \leq t \leq \frac{(L+1)T_b}{2} \\ \frac{1}{2} & t > \frac{(L+1)T_b}{2} \end{cases} \quad (7)$$

将式 (7) 代入式 (6) 后可得到 GMSK 调制的相位函数:

$$\phi(t) = \pi \sum_{k=n-(L-1)/2}^{n+(L-1)/2} a_k q(t - kT_b) + \frac{\pi}{2} \sum_{k=-\infty}^{n-(L-1)/2-1} a_k \quad (8)$$

式 (8) 表明, 调制信号的相位变化不仅与当前的码元状态有关, 而且与前后的 $(L-1)/2$ 个码元的状态有关^[2]。这样, 当前码元的幅度就要受到其他码元的影响, 如图 4 所示。

从图 4 中可看到, 高斯最小频移键控的输出信号的幅值不单单在本码元周期内有幅值, 还延伸到了其

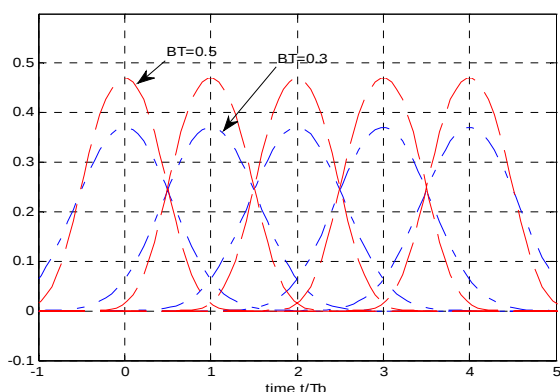


Figure 4. the output signal of the GLPF in different BT value
图 4. 双极性码经不同 BT 值高斯低通滤波器后的输出信号

他的码元持续周期内，而且调制信号的频域的频谱宽度越窄，其时域所带来的码间干扰就越大。

通过对不同 BT 值的 GMSK 调制系统的仿真，如图 5，可以得出，BT 值越小，虽然频率利用率提高了，但是误码率也增加了，这也是目前 GSM 系统采用 BT=0.3 的原因，带宽很窄，误码率相对又较小。

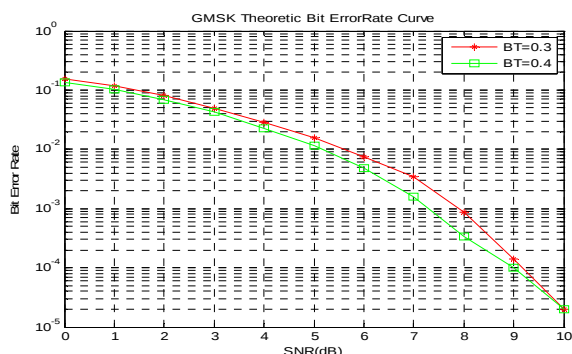


Figure 5. The comparison of BER for different BT value
图 5. 不同 BT 值的误码性能比较

3 信道编码

为了改善信道的传输质量，纠正数据在传输过程中的错误，通常会在待传输的信息码中插入一些冗余的编码来保证信息在传输过程中的准确性和可靠性。信道编码技术就是构造出一个码型结构，插入的冗余码最少，获得的系统抗干扰性能最大。这种编码也称为差错控制编码。信道编码可以分为分组码和卷积码，这里我们只讨论分组码中最重要的一种编码，汉明码。汉明码的编译码的电路结构都比较简单，获得的系统性能也很好，因此在实际应用中得到了广泛的应用。

线性分组码是将输入信息分成 k 位一组进行编码，并按照线性规律人为加入一些多余的码元，构成 n 位一组的码字输出 $c = (c_1, c_2, \dots, c_{2^m-1})$ ，人为加入的码元个数为 $n - k = m$ 位，称为监督位，用码字的

$c_{2^m-1}, c_{2^m-2}, \dots, c_{2^m-m}$ 位表示。 k 位的输入与 m 位监督位的关系构成生成矩阵，因此，不同的线性关系所构成的线性分组码的生成矩阵也不同，生成的码字及其最小码重也不同，从而会产生不同的纠错能力，而线性分组码中的汉明码字间的最小汉明距固定为 3，可以纠正一个码字的错误^[3-5]。生成矩阵的构造非常简单，监督码元的所有 m 位二进制所组成的所有的码字，去掉一个全零码后，剩余的码字按列向量排列成的矩阵即是汉明码的监督矩阵，如汉明 (15, 11, 4) 的监督矩阵为：

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

根据监督矩阵与生成矩阵的关系

$$[G]_{k \times n} [H]_{m \times n}^T = 0 \quad (10)$$

从而可得到汉明 (15, 11, 4) 编码的生成矩阵为：

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

若输入的信息 $u = [u_1, u_2, u_3 \dots u_k]$ ，则输出的码字为

$$[c]_{1 \times n} = [u]_{1 \times k} \cdot [G]_{k \times n} \quad (12)$$

4 汉明编码的 GMSK 调制的系统模型

前面分析了通过对信号进行编码可以提高信号传输的可靠性，因此在进行 GMSK 调制之前我们先将要调制的信号进行编码，然后再送入到 GMSK 调制系统里，仿真模型如图 6 所示。

这里，我们分别采用了汉明 (15, 11, 4) 编译码和汉明 (31, 26, 5) 编译码进行系统仿真，对于未编码的 GMSK 调制系统，只需将上图中的 Hamming Encoder 和 Hamming Decoder 两个仿真模块去掉即可。仿真运行结果如图 7、8 所示。

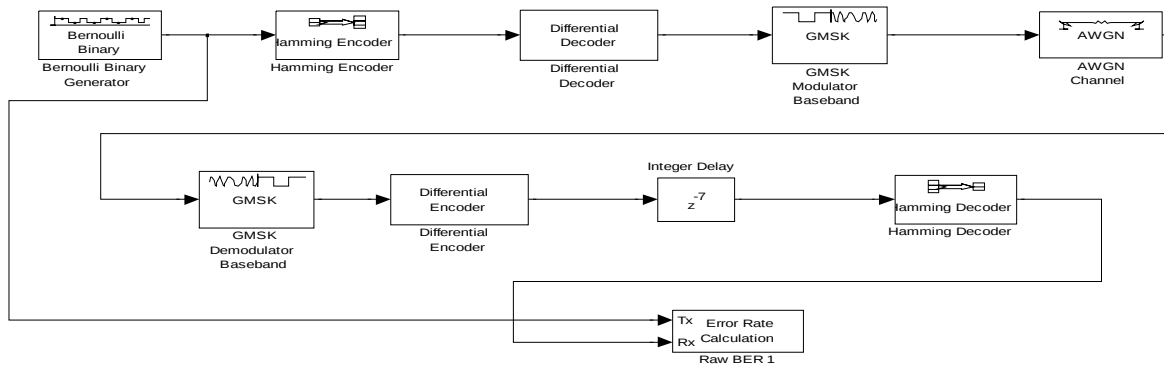


Figure 6. The simulated model of the hamming encoding GMSK modulation system

图 6. Hamming 编码的 GMSK 调制系统仿真模型

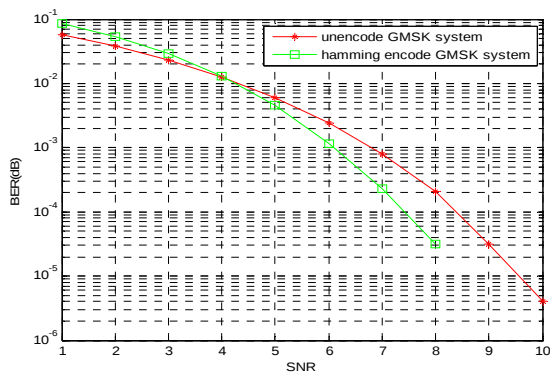


Figure 7. The comparison of the uncoding GMSK modulation system with the hamming(15,11,4) encoding GMSK modulation system

图 7. GMSK 调制系统未编码与 hamming(15,11,4)编码性能比较

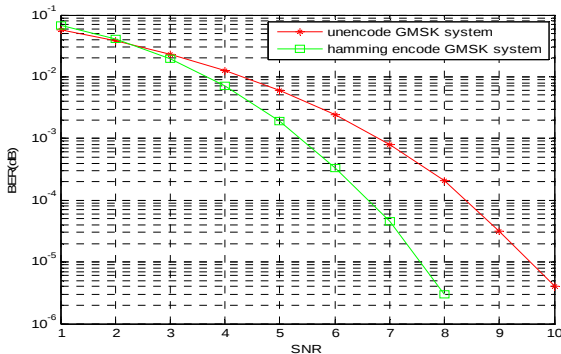


Figure 8. The comparison of the uncoding GMSK modulation system with the hamming(31,26,5) encoding GMSK modulation system

图 8. GMSK 调制系统未编码与 hamming(31,26,5)编码性能比较

5 结论

从图 7 中可看到 hamming(15, 11, 4) 编码系统比未编码系统在误码率为 10^{-4} dB 的误码性能下, 信噪比改善了大约 1dB, 而 hamming(31, 26, 5) 编码系统在 10^{-4} dB 的误码性能下, 信噪比改善了大约 2dB。因此,

我们可以得出这样的结论:

- 1) 经过编码的 GMSK 调制系统与未编码的 GMSK 调制系统相比, 系统的传输性能得到了很大的提高。
- 2) 不同编码的 GMSK 调制系统所产生的编码增益不同, 编码位数越大, 得到的编码增益越多, 系统的误码率越低。
- 3) 采用汉明编码系统, 当编码位数越多时, 码的利用率越高, 信道的传输速率越接近信息速率, 减少因纠错而引入的冗余码元对系统的影响。

References(参考文献)

- [1] Zhou Jong-pan. COMMUNICATION THEORY[M].BeiJing University of Posts and Telecommunications Press. 2006:260-330 周炯槃. 通信原理[M]. 北京邮电大学出版社, 2006:260-330
- [2] Zhang Xuejing, Xue Lin, Li Jinping. The Research and Implementation of Hamming coding and decoding algorithm[J]. Beijing Union University (Natural Science Edition), March 2008, Vol 22, No.1:46-49 章学静, 薛琳, 李金平. 汉明(hamming)码及其编译码算法的研究与实现[J]. 北京联合大学学报(自然科学版), 2008 年 3 月第 22 卷第 1 期总 71 期:46-49
- [3] Jiang Dan. Informatics & Coding [M]. University of Science and Technology of China Press, 2001:183-210 姜丹. 信息论与编码[M]. 中国科学技术大学出版社, 2001:
- [4] Zeng Zuo-qi, Li Zhan. The analysis and simulation of the demodulation performance of GMSK signal based on Viterbi algorithm [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), Apr. 2008, Vol.20, No. 2:132-138 曾佐祺, 李赞. 基于 Viterbi 算法的 GMSK 信号解调性能分析与仿真[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版) 2008 年 4 月第 20 卷第 2 期:132-138
- [5] Guo Wen-bin, Yang Hong-wen, Yang Da-cheng. a new iterative detection method of GMSK encoding [J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, Ju. 2004, Vol 27 No. 3:58-62 郭文斌, 杨鸿文, 杨大成. 编码 GMSK 的一种新的迭代检测方法[J]. 北京邮电大学学报 2004 年 6 月第 27 卷第 3 期:58-62