

# GMSK 信号的非相干解调技术研究

陈 旗, 杨允军, 宋士琼

(海军工程大学电子工程学院指挥自动化系, 湖北 武汉 430033)

**摘要:** 介绍了 GMSK 信号的两种非相干解调——1bit 差分解调和改进型的 Viterbi 算法解调。通过计算机仿真对这两种非相干解调算法进行了研究, 最后在相互之间进行了解调性能仿真比较。仿真结果表明, 1bit 差分解调算法完全能够实现对 GMSK 信号的正确解调, 改进型的 Viterbi 解调算法在解调过程中用 MSK 信号的相位路径进行高斯滤波后作为参考路径, 并选取与接收信号的相位路径的 Euclidean 距离最小的作为解调路径, 取得了良好的解调效果。在同等误码率要求下, 改进的 Viterbi 算法比 1bit 差分解调性能具有更高的 SNR 优势。

**关键词:** GMSK 信号; 非相干解调; 1bit 差分解调; 改进型的 Viterbi 算法解调

**中图分类号:** TN941 **文献标识码:** A

## Study of demodulation with noninterference about GMSK signal

Chen Qi, Yang Yunjun, Song Shiqiong

(Command Automatization Department of Electronic

Engineering Institute, Navy Engineering University, Wuhan 430033, Hubei, China)

**Abstract** Two ways of demodulation about the GMSK with noninterference, difference demodulation 1 bit and mended Viterbi arithmetic demodulation, are introduced. The capabilities of the two demodulation are compared through computer simulation. The difference demodulation of 1 bit could achieve the demodulation about the GMSK. In the course of the mended Viterbi arithmetic demodulation, the phasic path of MSK filtered through Gauss filter is turned into referential path, and the path which Euclidean distance with received signal is shortest is turned into demodulation path. The perfect demodulation effect is achieved. The mended Viterbi arithmetic demodulation has more predominance about SNR than the difference demodulation of 1 bit.

**Key words:** GMSK signal; demodulation with noninterference; difference demodulation of 1 bit; mended Viterbi arithmetic demodulation

## 1 引言

GMSK 是数字通信中一种相位连续的调制方式, 可以看成在 MSK 的基础上进行高斯预滤波。GMSK 信号功率谱特性好、支持非相干解调, 是高速数据通信中常用的调制样式。现代军事通信的一个重要的特点是通信用户的数量及用户之间所需交换的信息量越来越大, 信息的种类也越来越多, 这就对目前以传输模拟或是数字语音为主的军用战术跳频电台提出了挑战, 为了顺应高速数据通信的需要, 提高数据传输速率, 又

考虑到抗干扰的需求, 将 GMSK 调制与跳频技术结合起来, 以实现跳频通信中的高速数据传输已经成为一项成熟的技术(如美军的 Link 16 数据链)。

为了适应通信对抗发展的要求, 有必要开展 FH/GMSK 调制的跳频数据通信侦察技术的研究, 因此首先需要研究 GMSK 信号的解调技术。GMSK 信号的解调分为相干解调和非相干解调, 由于非相干解调结构简单, 不需要进行载波恢复, 有助于硬件电路的简化, 还能适应传输中出现的随机相位变化和频率偏差, 特别适合 FH/GMSK 信号的解调。因此本文针对 GMSK 信号的 1bit 差分解调、改进型 Viterbi 算法解调这两种非相干解调着手进行了研究, 最后进行了性能仿真比较。

收稿日期: 2006-08-22; 2006-12-04 修回。

作者简介: 陈旗(1974-), 男, 硕士研究生, 讲师, 主要从事通信对抗技术研究; 杨允军(1976-), 男, 硕士研究生, 主要从事信号处理技术研究; 宋士琼(1975-), 女, 硕士研究生, 主要从事信息作战研究。

## 2 GMSK 信号

GMSK 信号可以看成是在 MSK 的基础上进行高斯预滤波而得到的。它在保持恒包络的同时,能够通过改变高斯滤波器的 3dB 带宽对信号的功率谱进行控制<sup>[1-2]</sup>。

$$h(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma T}} \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

式中,  $\sigma = \frac{\sqrt{\ln 2}}{2\pi B T}$ ,  $B$  是滤波器的 3dB 带宽,  $T$  是码元宽度。

$$g(t) = h(t) * \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) = \frac{1}{2T} \left\{ Q\left[\frac{2\pi B}{\sqrt{\ln 2}}\left(t - \frac{T}{2}\right)\right] - Q\left[\frac{2\pi B}{\sqrt{\ln 2}}\left(t + \frac{T}{2}\right)\right] \right\} \quad (2)$$

$$\text{式中, } Q(t) = \int_t^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du.$$

GMSK 信号的表达式可写成:

$$s(t) = \sqrt{2E/T} \cos[2\pi f_c t + \theta(t) + \phi_0] \quad (3)$$

式中,  $\theta(t) = 2\pi h \int_{-\infty}^t \sum_n a_n g(u - nT) dt$  为相位路径,  $\{a_n\}$  是不归零(NRZ)二进制序列。

## 3 1bit 差分解调

GMSK 信号的 1bit 差分解调是在 1 个信息码元内,根据相位的变化来判定发送的数据,具有原理简单、实现简捷方便的特点,下面对 1bit 差分解调进行简要的推导。

GMSK 信号信道噪声取高斯白噪声,噪声写成等效低通形式<sup>[3]</sup>:

$$n(t) = n_c(t) \cos[2\pi f_c t + \varphi(t)] + n_s(t) \cdot \sin[2\pi f_c t + \varphi(t)] \quad (4)$$

考虑信号的能量  $E$  和噪声  $n(t)$ , GMSK 信号表达式为:

$$x(t) = \sqrt{2E/T} \cos[2\pi f_c t + \varphi(t)] + n(t) = R(t) \cos[2\pi f_c t + \varphi(t) + \eta(t)] \quad (5)$$

式中,  $R(t)$  为振幅大小,恒为正;  $\eta(t)$  为噪声对信号相位的影响。1bit 差分解调时,正交分量经过  $T_b$  时延( $T_b$  为信息码元宽度)后与同相支路分量相乘低通滤波后得到:

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

式中,  $\Delta\Phi(T_b) = \varphi(t) - \varphi(t - T_b) + \eta(t) - \eta(t - T_b)$  表示相位路径在 1bit 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,暂时忽略噪声的影响, (6) 式变成:

$$y(t) = \frac{1}{2} R(t) R(t - T_b) \sin[\Delta\Phi(T_b)] \quad (7)$$

在式(7)中,因为  $R(t)R(t - T_b)$  为正,所以  $y(t)$  的正负完全由  $\sin[\Delta\Phi(T_b)]$  确定,可以考虑用  $y(t)$  的正负来表示解调所得信息。在式(7)中,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,根据  $y(t)$  的正负就可以恢复信息码元。

根据上述推导,列出算法流程图如图 1 所示。图 2 是 SNR=15dB 时 GMSK 的 1bit 差分解调算法仿真情况,同时对改变本地载波,数据存在频差情况下进行解调研究。仿真表明,该算法对频差不敏感。

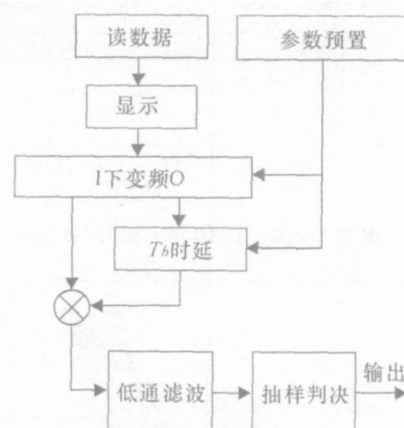


图1 GMSK 1bit 差分解调算法流程

## 4 改进型 Viterbi 算法解调

Viterbi 算法用于 GMSK 解码的思想是先求出 GMSK 信号的相位路径,用相位路径作为解调路径,将相位路径与所有可能的信息序列作对比,选择最小距离的序列作为信息序列。这种算法的复杂度与预调制高斯滤波器的  $BT$  值,也就是 GMSK 信号预调制高斯滤波器矩形脉冲响应的近似长度(称为约束长度)有关。对于二进制,约束长度为  $k$  的序列,需要比较相位路径和  $2^k$  条路径的距离。Viterbi 算法的存储量为  $2^{k+1}$ ,对于  $k < 10$  的情况很有吸引力,而当  $BT > 0.1$  时,高斯滤波器的矩形脉冲响应在  $L = 5$  时就可以得到很高的精度<sup>[3-4]</sup>。

Viterbi 算法是根据相位路径的变化来解调信息的。图 3 给出了相同信息序列情况下,不同约束长度对应的相位路径。 $L = 1$  就相当于 MSK 信号,从相位路径中也可以看出来,随着  $L$  的增大,相位路径相对于信息序列的变化就越滞后,所以在应用 Viterbi 算法对 GMSK 信号进行解调时,约束长度  $L$  是一个很重

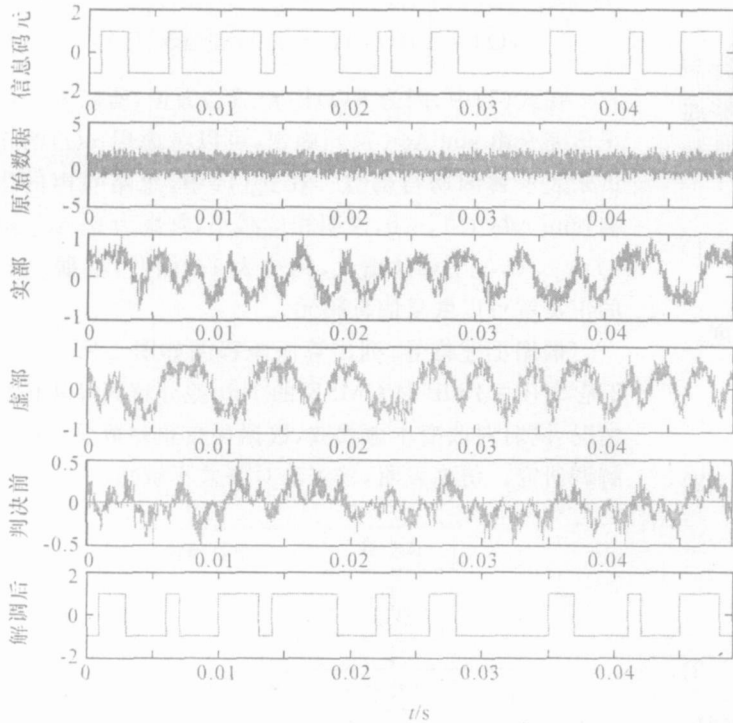


图2 SNR=15dB 时 GMSK 的 1bit 差分解调

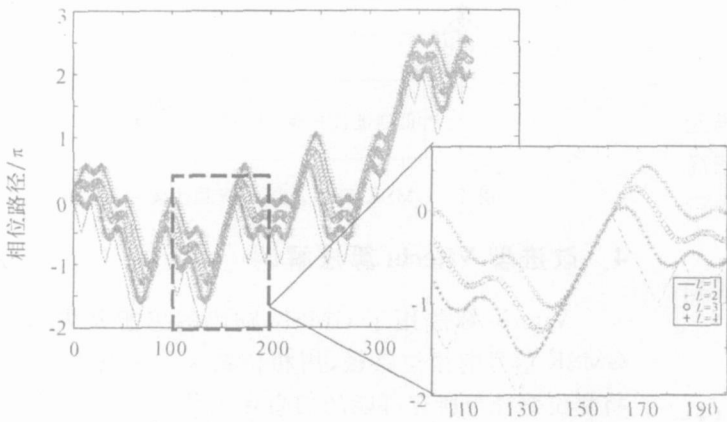


图3 不同约束长度时相位路径的关系

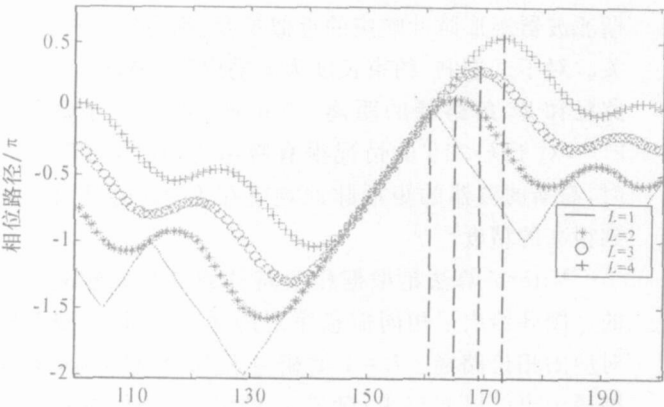


图4 不同约束长度时相位路径与信息码的滞后关系

时相位路径与信息码的滞后关系,这种滞后关系对抽样判决点的选取是至关重要的,也是影响解调性能的一个重要方面。 $L=2,3,4$  时,相位路径相对于  $L=1$  时分别滞后了 4、8、12 个点,也就是  $1/2,1,3/2$  个信息码元(图中的数据为每符号采样 8 个点)。

上述分析阐明了具体的数据与 Viterbi 算法的一些关系,观察图 5 的 MSK 可能的相位路径和 GMSK 实际相位路径的对比,可以对 Viterbi 算法用于 GMSK 解调的方式进行改进。在图 5 中,可以将 MSK 可能的相位路径和 GMSK 实际相位路径的 Euclidean 距离作为度量值,也就是在所有的相位路径中,选择和 GMSK 实际相位路径拟合程度最高的一条相位路径作为解调路径,从而完成解调。不论 MSK 信号,还是 GMSK 信号,这样做是合理的,因为 GMSK 实际相位路径和 MSK 相位路径的区别不外乎两个方面:一是 GMSK 实际相位路径受约束长度内的  $L$  个码元的码间串扰,使得相位路径存在一定的延时;二是高斯滤波器的存在使得 GMSK 相位路径变化圆滑,具有可导性,而 MSK 相位路径不具有这个特性。实际解调中,这两点对解调的影响都可以克服,比如解决相位路径的可导性可以对 MSK 相位路径进行滤波,延时也可以根据图 4 所示的经验值来解决。这样,在牺牲一定的解调性能的条件下,就可以得到更简单的改进型 Viterbi 解调算法:

(1)在约束长度  $L$  内,计算并存储  $2^L$  个可能的信息码元及相位路径;

(2)从第  $k$  位开始,比较  $2^L$  条相位路径与观测相位路径的 Euclidean 距离,保留  $M$  个最小度量值及其对应的相位路径;

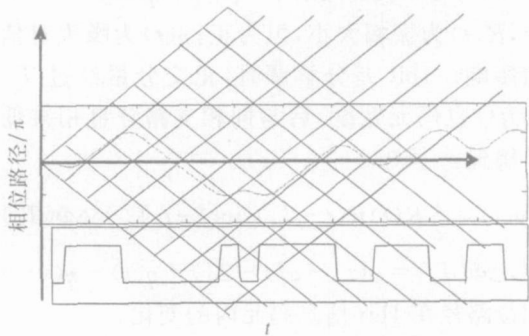


图5 MSK 可能的相位路径和 GMSK 实际相位路径的对比

要的参数。从图 4 中可以更明显地看出不同约束长度

(3)  $n=n+1$ , 计算增量  $Z_n(a)$  和度量值  $C_{n+1}(a) = C_n(a) + Z_n(a)$ , 重复步骤(2), 直到解调完毕。

图 6 所示为  $BT=0.3$  时, GMSK 信号的 1bit 差分解调和改进的 Viterbi 算法解调的性能比较。可见, 在同等误码率要求下, 当  $L=4$  时, 改进的 Viterbi 算法比 1bit 差分解调性能具有 4~6dB 的 SNR 优势。

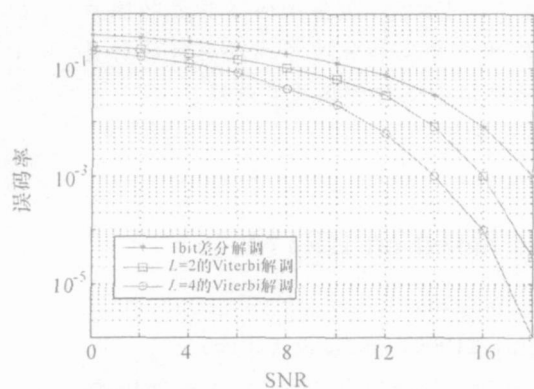


图 6 1bit 差分和 Viterbi 解调性能比较

GMSK 解调只是 Viterbi 算法应用的一个方面, 事实上, Viterbi 算法是求解具有 Markov 过程性质的有限状态一类问题通用的算法<sup>[4]</sup>, 所以实现通用的 Viterbi 有着现实意义。要达到 Viterbi 算法的实用性, 还是应该用 C 语言来实现。

(上接第 41 页)

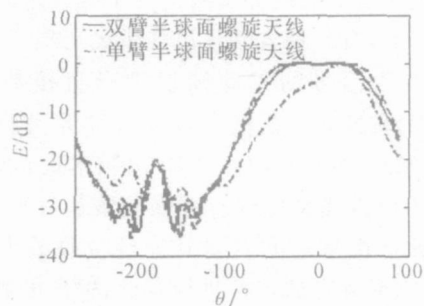


图 6 1600MHz 时天线的方向图

## 4 结束语

采用螺旋分段的矩量法分析了单臂半球面螺旋天线和双臂半球面螺旋天线的驻波比特性、增益特性和方向图特性, 结果表明, 单臂半球面螺旋天线阻抗带宽窄, 在频带内增益起伏较大; 双臂半球面螺旋天线在 900~2700MHz 的频带内, 具有良好的阻抗、增益和方向图特性, 具有广泛的应用前景。■

## 6 结束语

本文主要从理论分析和仿真两方面针对 GMSK 信号的 1bit 差分解调、Viterbi 两种非相干解调进行了研究, 并进行了解调性能仿真比较。通过上述仿真分析可知, 1bit 差分解调算法能够实现对 GMSK 信号的正确解调, 改进的 Viterbi 解调算法在解调过程中用 MSK 信号的相位路径进行高斯滤波后作为参考路径, 选取与接收信号的相位路径的 Euclidean 距离最小的作为解调路径, 取得了良好的解调效果。在同等误码率要求下, 改进的 Viterbi 算法比 1bit 差分解调性能具有更高的 SNR 优势。■

## 参考文献:

- 1 Proakis JG. Digital Communication[M]. The Forth Edition. New York: Mc Graw Hill 2001.
- 2 郭梯云, 杨家玮, 李建东. 数字移动通信[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001.
- 3 Fonseka JP. Noncoherent detection with Viterbi decoding for GMSK signals[J]. IEE Proc. Comm., 1996, 143(6): 373-379.
- 4 John MT, Kingsbury N. Use of the Viterbi algorithm to compute error events of trellis phase coding in order of increasing distance[J]. IEEE Trans. on Comm., 1988, 36(10): 1166-1171.

## 参考文献:

- 1 Safaai Jazi A, Cardoso JC. Radiation characteristics of a spherical helical antenna[J]. IEE Proc. Microw. AP, 1996, 143(1): 7-12.
- 2 Hui HT, Chan KY, Yung EKN. The low profile hemispherical helical antenna with circular polarization radiation over a wide angular range[J]. IEEE Trans. AP, 2003, 51(6): 1415-1418.
- 3 Hui HT, et al. Coaxial feed axial mode hemispherical helical antenna[J]. Electronics Letters, 1999, 35(23): 1982-1983.
- 4 Chmapagne NJ, et al. The use of curved segments for numerically modeling thin wire antennas and scatters[J]. IEEE Trans. AP, 1992, 40(6): 686-689.
- 5 Caswell ED, Davis WA. Analysis of a helix antenna using a moment method approach with curved basis and testing function[C]. IEEE International Symposium on AP, Atlanta 1998: 111.
- 6 纪奕才, 孙保华, 刘其中. 基模螺旋天线的研究[J]. 电子学报, 2002, 30(3): 428-430.
- 7 纪奕才, 郭景丽, 刘其中. 加载法向模螺旋天线的研究[J]. 电波科学学报, 2002, 17(6): 573-576, 580.