

Application of Correlation Detection in EBPSK System

Mingshuang Wang

Radio Engineering Department of Southeast University, Nanjing Jiangsu
Email: 113240438@qq.com

Received: Jan. 14th, 2017; accepted: Jan. 30th, 2017; published: Feb. 10th, 2017

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Due to the EBPSK pulse modulation signal through the pulse sequence in the symbol period in different positions to transmit digital information, the correlation function between the received signal and the original signal reflects the position information of the original code, so this method can be used for EBPSK signal detection, and gives the best position of threshold detection. The correlation detection method is contrasted with sampling detection method in simulation experiment; the results show that the correlation detection performance is better, and has certain anti-interference ability.

Keywords

EBPSK, Correlation Detection, Position Decision Threshold

相关检测在EBPSK通信系统中的应用

王明双

东南大学信息科学与工程学院, 江苏 南京
Email: 113240438@qq.com

收稿日期: 2017年1月14日; 录用日期: 2017年1月30日; 发布日期: 2017年2月10日

摘要

EBPSK脉冲调制信号是通过脉冲序列在码元周期内位置的不同来传递数字信息的, 接收端对信号进行相

关处理得到的相关函数体现了原始码元的位置信息，所以可用于EBPSK信号的检测，同时给出了检测的最佳位置门限，仿真实验将相关检测方法 with 抽样检测方法的性能进行了对比，实验结果表明相关检测性能较优，且具有一定的抗干扰能力。

关键词

EBPSK, 相关检测, 位置判决门限

1. 引言

无线电频谱资源作为宝贵的资源被认同[1]，如何充分利用和减少频谱的利用成为关注课题。扩展的二元相移键控(Extended Binary Phase Shift Keying, EBPSK)是一种二元不对称调制[2]，具有较高的频谱利用率。本文应用 EBPSK 脉冲调制信号，基于位置信息进行信息的传递。该调制方法接收端采用经典的码元内抽样判决方法，将无法获得较好解调性能，通常情况下 EBPSK 脉冲调制信号在接收端采用对判决位置采样后进行幅度比较判决的检测方法，但由于各类干扰等影响，检测性能下降，本文在此基础上，提出对接收信号采用相关检测方法，更加有效的实现了接收端 EBPSK 调制系统的码元判决。

2. EBPSK 脉冲信号及其功率谱

2.1. 数学表达式

改进的单极性脉冲 EBPSK 的基带信号波形是一种 RZ (Return-to-zero)单极性归零波形[3]，其矩形脉冲序列数学表达式可写为

$$g_1(t) = \begin{cases} A & 0 \leq t < KT_c \\ 0 & KT_c \leq t < NT_c \end{cases} \quad (1)$$

$$g_2(t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq t < KT_c \\ A & KT_c \leq t < 2KT_c \\ 0 & 2KT_c \leq t < NT_c \end{cases}$$

其中， A 为脉冲的幅度， T_c 是载波周期，符号宽度(即码元时间长度) T_s 持续了 N 个载波周期，即 $T_s = N \times T_c$ ，跳变波形的时间长度 τ 持续了 K 个载波周期，即 $\tau = K \times T_c$ ， $g_1(t)$ 和 $g_2(t)$ 分别代表二进制符号“0”和“1”，占空比为 K/N ，一般 $K < N$ ，占空比小于 100%。

2.2. 矩形脉冲序列功率谱密度

首先，计算 $g_1(t)$ 和 $g_2(t)$ 傅里叶变换如下

$$G_1(f) = AKT_c Sa(\pi fKT_c) \cdot e^{-j\pi fKT_c} \quad (2)$$

$$G_2(f) = AKT_c Sa(\pi fKT_c) \cdot e^{-j3\pi fKT_c}$$

将 $f = mf_s$ ， $f_s = 1/T_s$ ， $T_s = N \times T_c$ 带入式(2)得到

$$G_1(mf_s) = \frac{ANT_c}{m} \sin\left(\frac{mK\pi}{N}\right) \cdot e^{-\frac{j\pi mK\pi}{N}} \quad (3)$$

$$G_2(mf_s) = \frac{ANT_c}{m} \sin\left(\frac{mK\pi}{N}\right) \cdot e^{-\frac{3j\pi mK\pi}{N}}$$

在文献[4]中，已给出单边功率谱密度表达式

$$P_s(f) = 2f_s P(1-P) |G_1(f) - G_2(f)|^2 + f_s^2 [PG_1(0) + (1-P)G_2(0)]^2 \delta(f) \\ + 2f_s^2 \sum_{m=1}^{\infty} [PG_1(mf_s) + (1-P)G_2(mf_s)]^2 \delta(f - mf_s) \quad f \geq 0 \quad (4)$$

其中, $f_s = 1/T_s$ 。

通过将式(3)带入式(4)可得由该 EBPSK 脉冲构成的随机脉冲序列的单边功率谱密度。

当 $P = 1/2$ 时, 单边功率谱密度函数为

$$P_s(f) = \frac{2A^2}{\pi^2 NT_c f^2} \sin^4(\pi f K T_c) + \frac{A^2 K^2 \pi^2}{N^2} \delta(f) + \frac{2A^2}{m^2} \sum_{m=1}^{\infty} \sin^2\left(\frac{mK\pi}{N}\right) \cos^2\left(\frac{mK\pi}{N}\right) \delta(f - mf_s) \quad (5)$$

由式(5)知, EBPSK 单极性脉冲序列的功率谱包含连续谱和离散谱; 当 $m = 0$ 时, $G_1(0) \neq 0$, $G_2(0) \neq 0$, $\delta(f)$ 系数不为零, 有直流分量; 当 $2mK/N$ 为大于等于 1 的整数时, 无离散谱。

2.3. EBPSK 脉冲调制信号功率谱密度

设 EBPSK 调制信号为 $s(t)$, 可以表达为以上的归零脉冲码乘以一个频率为 f_c 的正弦波, 表示为

$$s(t) = g(t) \cos 2\pi f_c t \quad (6)$$

其中, $g(t)$ 是 EBPSK 的基带信号波形。利用式(5), 则 $s(t)$ 的功率谱密度为

$$P_{\text{ebpsk}}(f) = \frac{1}{2} [P_s(f + f_c) + P_s(f - f_c)] \quad (7)$$

其功率谱如图 1 所示。

3. 相关检测法

相关检测技术是微弱信号检测领域一个重要的研究方向, 具有良好的提取有效信号抑制噪声的性能[5]。相关检测技术利用发送信号与接收信号的相关性, 通过自相关和互相关运算达到对信号进行检测或去除噪声的目的[6]。

由于 EBPSK 调制信号属于二进制信号仅有 $s_1(t)$ 和 $s_2(t)$ 两类波形, 在 AWGN 信道下将接收端得到的信号设为

$$x(t) = s(t) + n(t) \quad (8)$$

使其每个码元周期波形与发送的码元波形 $s_1(t)$ 进行相关运算, 得到相关函数

$$R_{x s_1}(\tau) = E[x(t) \times s_1(t - \tau)] = E[(s(t) + n(t)) \times s_1(t - \tau)] \\ = \begin{cases} E[(s_1(t) + n(t)) \times s_1(t - \tau)] = R_{s_1 s_1}(\tau) + R_{s_1 n}(\tau) & \text{接收码元为0时} \\ E[(s_2(t) + n(t)) \times s_1(t - \tau)] = R_{s_1 s_2}(\tau) + R_{s_2 n}(\tau) & \text{接收码元为1时} \end{cases} \quad (9)$$

同理, 其与发送码元 $s_2(t)$ 波形相关运算结果

$$R_{x s_2}(\tau) = E[x(t) \times s_2(t - \tau)] = E[(s(t) + n(t)) \times s_2(t - \tau)] \\ = \begin{cases} E[(s_1(t) + n(t)) \times s_2(t - \tau)] = R_{s_1 s_2}(\tau) + R_{s_2 n}(\tau) & \text{接收码元为0时} \\ E[(s_2(t) + n(t)) \times s_2(t - \tau)] = R_{s_2 s_2}(\tau) + R_{s_2 n}(\tau) & \text{接收码元为1时} \end{cases} \quad (10)$$

假设高斯白噪声的均值为 0, 且信号与噪声相互独立不相关, 那么有 $R_{s_1 n}(\tau) = R_{s_2 n}(\tau) = 0$, 所以, 通过相关运算, 可以有效的去除噪声对传输的 EBPSK 脉冲信号的影响。

式(9)和式(10)的两个相关函数，其最大值位置(峰值)会因传输的码元波形的脉冲位置不同而不同，所以，在接收端 EBPSK 信号检测中，通过选择恰当的位置门限，可以判决接收码元的信息。

眼图中两个三角形形状是接收码元和发送码元的相关运算后，进行眼图绘制的曲线图，可以看出，接收码元与传输码元相同时，可以得到相关波形的三角形形状，而且最大值产生在三角形区域内，接收码元与传输码元不同时所进行的相关处理，其峰值低于相同码元的相关处理后的峰值，而且其峰值位置不同。

在 EBPSK 信号检测中，判决接收码元的位置门限的选取，可以将图 2 的两个眼图合并得到图 3，图 3 中的两个三角形的交点位置即为最佳位置判决门限，即两个峰值位置的中间值是最佳判决位置门限。门限的取得有利于对接收码元的信息进行判决。如果将 EBPSK 脉冲调制信号的码元之间的保护间隔拉大，那么图 3 的两个相关函数的三角形的位置将拉开，最佳位置判决门限可取两个三角形的顶点位置的平均值，将更加有利于信号的检测，提高抗干扰的性能。这种通过相关后查找最佳判决位置信息对接收码元进行判决的方法，可以推广到多元位置相移键控(M-ary Position Phase Shift Keying: MPPSK)调制信号检测 [7]，每个相邻码元之间的最佳判决位置门限可选为相关函数形成的相邻三角形的交点位置。

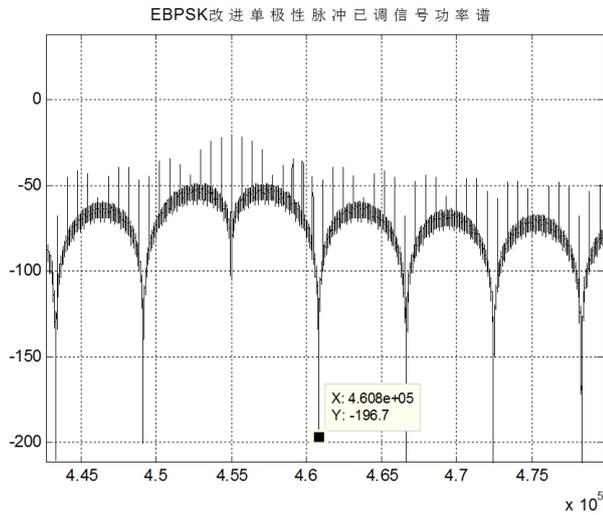


Figure 1. Power spectrum of EBPSK signal
图 1. EBPSK 脉冲调制信号功率谱

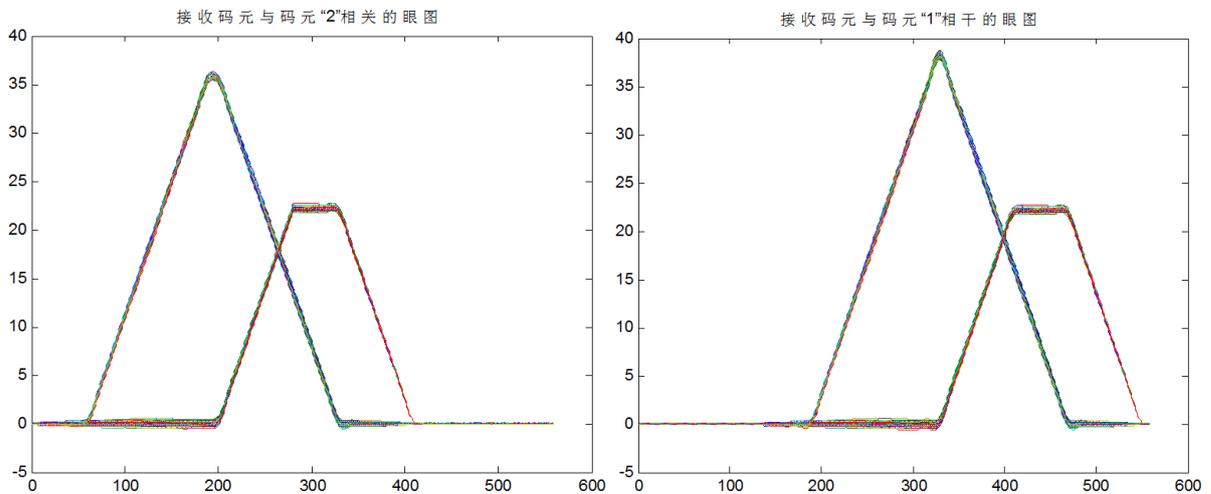


Figure 2. The correlation function curve of received symbol and the original symbol
图 2. 接收码元与发送码元的相关函数曲线图

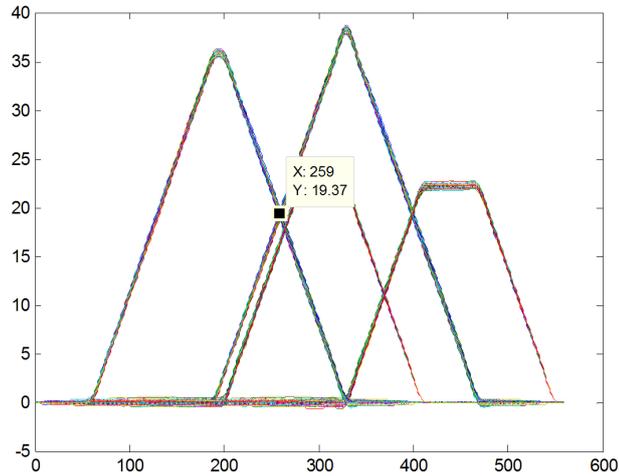


Figure 3. The received symbol and the original symbol coherence function

图 3. 接收码元与发送码元波形的相关处理后的眼图

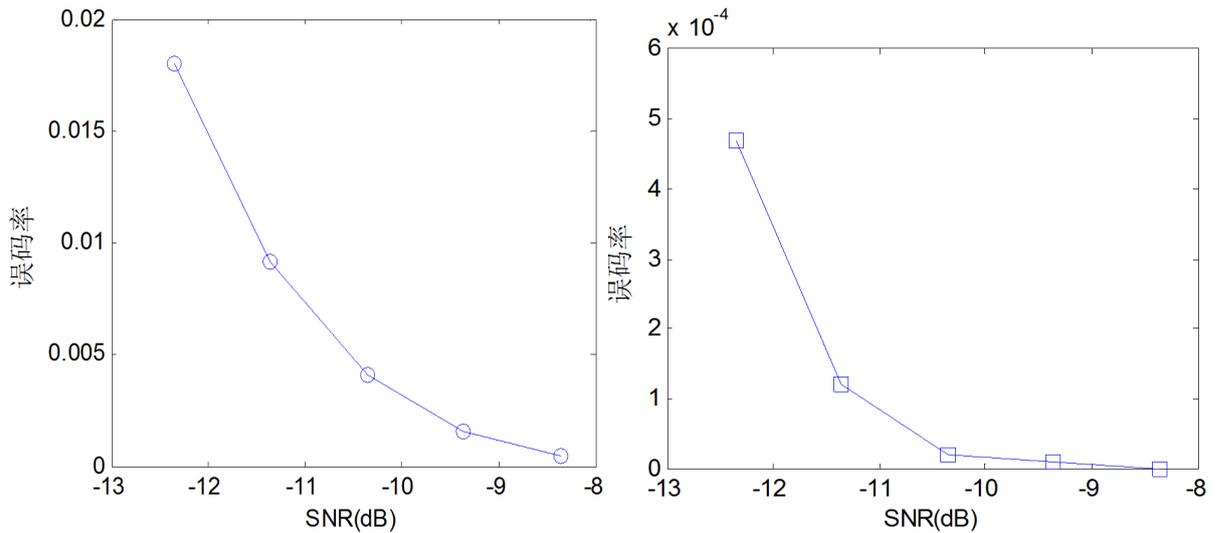


Figure 4. Performance comparison between sampling decision and correlation detection

图 4. 抽样判决与相关检测的性能比较

4. 仿真实验

仿真实验设置单极性 EBPSK 脉冲调制信号采样倍数为 10，跳变波形的持续载波周期数 $K = 14$ ，符号宽度(码元周期)持续的载波周期数 $N = 137$ ，在加性高斯白噪声(AWGN)信道下，发射端进行 EBPSK 信号的调制处理，通过信道后，在接收端采取相关检波，通过低通滤波器滤除高频部分取得传输码元波形的包络，再通过对判决位置进行采样然后利用抽样后的幅度进行判决。实验过程中同时比较仅进行抽样后判决与采用相关检测方法的误码率性能。误码率曲线如图 4。

两种检测方法的误码率曲线可以看出，相关检测性能(图 4 右)较抽样后幅度判决性能(图 4 左)好。且在较低信噪比下，相关检测方法表现出了较低的误码率性能。

5. 结束语

本文在 EBPSK 通信系统中，采用相关检测方法进行传输信号的解调，其在信噪比较低的情况下解调

性能仍表现较好,充分表明可以用于 EBPSK 脉冲调制系统的信号检测,同时可以有效对抗干扰。对于最佳位置门限信息的选取,可以推广应用到 MPPSK 等通信系统中。

参考文献 (References)

- [1] 夏金祥, 范平志. 无线电频谱利用面临的问题、机遇与对策[J]. 中国无线电, 2006(5): 4-11.
- [2] 吴乐南. 超窄带高速通信进展[J]. 自然科学进展, 2007(10): 143-149.
- [3] 周灼荣, 聂涛, 靳小超, 代忠. 基于 FPGA 的基带码发生器设计[J]. 现代电子技术, 2006, 29(11): 53-55.
- [4] 樊昌信. 通信原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.
- [5] 陆秋平. 基于相关原理的信号检测方法及其应用研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- [6] 李锐, 何辅云, 夏玉宝. 相关检测原理及其应用[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2008, 31(4): 573-575+579.
- [7] Wu, L.N. and Qi, C.H. (2007) Modulation and Demodulation Method for M-Ray Pulse Position Shift Keying (MPPSK). CN Patent No. 200710025202.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjwc@hanspub.org