

Demodulation for Bipolar Pulse Modulation under Pulse Interference

Bingbing Hu¹, Lenan Wu²

Radio Engineering Southeast University, Nanjing Jiangsu
Email: mppsk0@163.com, wuln@seu.edu.cn

Received: Jan. 25th, 2017; accepted: Feb. 15th, 2017; published: Feb. 20th, 2017

Abstract

Space electromagnetic environment is increasingly complex; all kinds of interference cannot be avoided, to promote the development of anti-jamming technology. For the bipolar pulse modulation system, this paper mainly uses various filtering algorithms to weaken the influence of pulse interference on the modulation signal, further optimizes the signal waveform, extracts the waveform characteristics, and finally uses SVM classification algorithm for demodulation, significantly improving the demodulation performance.

Keywords

Impulse Interference, MPPSK, Bipolar Small Pulse Modulation, Filtering Algorithm, Demodulation Performance, SVM Classification Algorithm

双极性脉冲调制的抗脉冲干扰解调

胡冰冰¹, 吴乐南²

东南大学信息科学与工程学院, 江苏 南京
Email: mppsk0@163.com, wuln@seu.edu.cn

收稿日期: 2017年1月25日; 录用日期: 2017年2月15日; 发布日期: 2017年2月20日

摘要

空间电磁环境日趋复杂, 各种干扰不可避免, 促使了抗干扰技术的发展。针对双极性脉冲调制体制, 本文主要利用各种滤波算法来削弱脉冲干扰对调制信号的影响, 进一步优化信号波形, 提取波形特征, 最终利用SVM分类算法进行判决解调, 明显提升了解调性能。

关键词

脉冲干扰, MPPSK, 双极性小脉冲调制, 滤波算法, 解调性能, SVM分类算法

Copyright © 2017 by authors 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

1. 引言

随着无线通信技术发展的突飞猛进以及无线设备的广泛应用, 空间的电磁环境日趋复杂, 各种干扰无处不在, 尤以军事通信领域为甚, 因而各种抗干扰技术和体制也不断发展。尝试具有抗干扰潜力的新的调制信号波形, 也是通信抗干扰的一个重要研究方向。多元位置相移键控(M-ary Position Phase Shift Keying, MPPSK)调制[1]可实现频谱效率和功率效率的自由转换, 具有较高的灵活性, 因此, 本文尝试将MPPSK的一个特例——双极性脉冲调制用于抗干扰通信, 研究其在脉冲干扰环境下的抗干扰方法和解调性能, 为实际应用提供参考。

2. 改进的 MPPSK 调制和双极性脉冲调制

MPPSK 是一种数字相位调制, 通过对不同符号的信息调制出现在载波的不同时间位置来区分不同的码元。其 M 进制的调制波形表达式如下[2] [3]:

$$g_k(t) = \begin{cases} A \sin 2\pi f_c t & 0 \leq t < (k-1)(K+r_g)T_c, \\ & 1 \leq k \leq M \\ B \sin(2\pi f_c t + \theta) & (k-1)(K+r_g)T_c \leq t < [(k-1)(K+r_g)+K]T_c, \\ & 0 \leq \theta \leq \pi, 1 \leq k \leq M \\ A \sin 2\pi f_c t & [(k-1)(K+r_g)+K]T_c \leq t < NT_c, \\ & 1 \leq k \leq M \end{cases} \quad (1)$$

其中, f_c 为调制载波的频率, T_c 为载波周期, $0 \leq r_g < 1$ 为符号保护间隔控制因子, 由 r_g 和整数 M 、 N 、 K 构成了改变 MPPSK 信号带宽、传输效率和解调性能的“调制参数”。对于周期出现的保护间隔, 会在频域引入额外的功率谱线谱, 将严重影响 MPPSK 调制的频谱利用率, 故本文令 $r_g = 0$, 取消相邻符号间的保护间隔, 再取 $M = 2, A = 0, B = 1, \theta = \pi$, 便得到 MPPSK 的一个特例, 即双极性脉冲调制如下:

$$\begin{aligned} S_0(t) &= \begin{cases} B \sin(2\pi f_c t), & 0 \leq t < \tau \\ 0, & \tau < t \leq NT_c \end{cases} \\ S_1(t) &= \begin{cases} -B \sin(2\pi f_c t), & 0 \leq t < \tau \\ 0, & \tau < t \leq NT_c \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

本论文中, 当载频, 系统带宽为(-60 dB)时, 取 $Nc = 379, Kc = 20$, 得到双极性脉冲调制信号波形如图 1 所示。图 2 则为图 1 波形的基带成型信号、调制信号和功率谱。

3. 抗脉冲干扰系统

双极性脉冲调制信号在发送端经过成型滤波用以约束信号带宽后, 经加性高斯白噪声信道(即 AWGN,

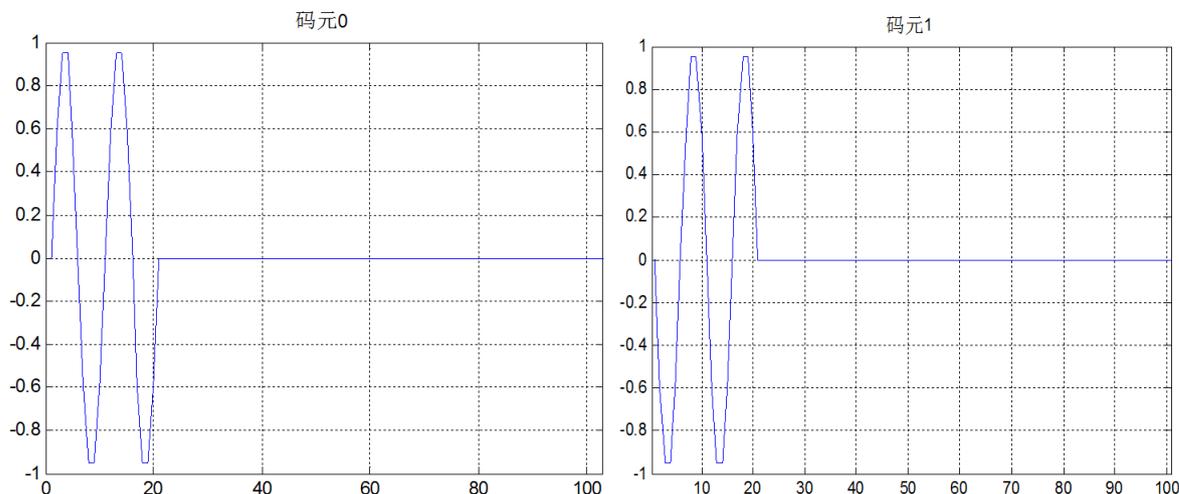


Figure 1. Time domain waveform of bipolar pulse modulation signal

图 1. 双极性脉冲调制信号时域波形

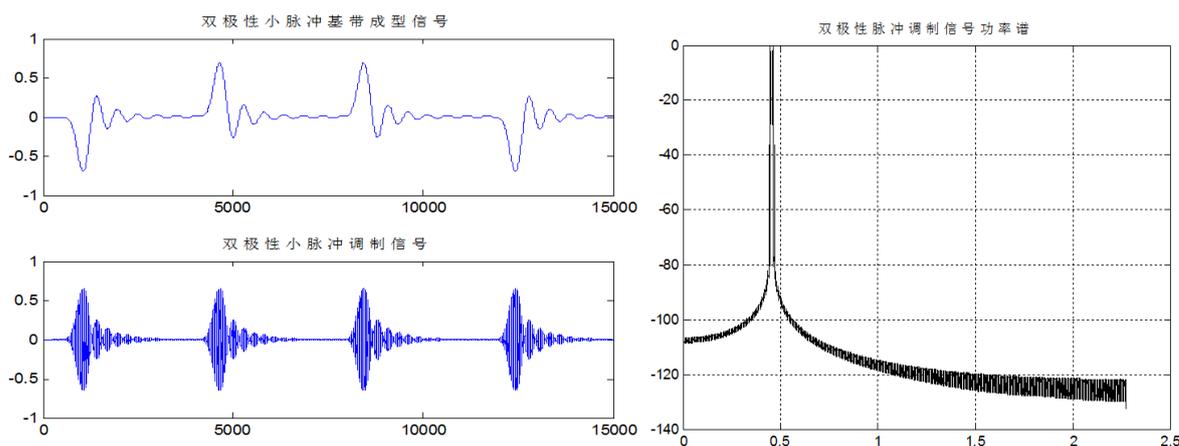


Figure 2. Bipolar pulse baseband shaping signal, modulation signal and power spectrum

图 2. 双极性脉冲基带成型信号、调制信号以及功率谱

通信上指的是一种通道模型(channel model), 此通道模型唯一的信号减损是来自于宽带的线性加成或是稳定谱密度(以每赫兹瓦特的带宽表示)与高斯分布振幅的白噪声)传输, 信道中还同时叠加了脉冲干扰; 接收端则利用中值滤波、消波、自适应滤波等进行抗干扰处理后, 经过相干处理(即乘以相干载波后低通滤波), 将高频信号转化为基带信号, 最终利用支撑向量机(SVM [4])分类器判决, 解调出发送码元。整个系统处理过程如图 3 所示。

3.1. 脉冲干扰

脉冲干扰是在时域短小时内施放干扰, 又称部分时间干扰。它作用时间较短, 但突发的脉冲幅度很大, 具有平坦的频谱特性, 且其频谱覆盖整个信号带宽。本文采用基于对称 α 稳定(SaS)分布的统计模型, 来模拟无线通信系统中的脉冲噪声。SaS 分布建模为:

$$X = \begin{cases} \sin(\alpha U) / ((\cos U)^{1/\alpha}) \times (\cos(U - \alpha U)/W)^{(1-\alpha)/\alpha}, & \alpha \neq 1 \\ \tan U, & \alpha = 1 \end{cases} \quad (3)$$

$$Y = \gamma X + \delta$$

其生成方式是用服从指数分布的随机变量 W 和服从均匀分布的随机变量 U 表示, 而后得到 x 。这其中, Alfa 和 Gamma 是两个对噪声分布影响较大的因素, Alfa 为特征指数, 决定噪声脉冲的剧烈程度, 取值范围为 $(0,2)$, 越小, 脉冲程度越显著; Gamma 为比例参数, 描述样本相对于均值的分散程度, 其值大于零。如图 4 所示。

3.2. 中值滤波和自适应滤波算法

中值滤波[5][6]是一种非线性平滑技术, 是基于排序统计理论的一种有效抑制散粒噪声的非线性信号处理技术, 基本原理是把数字图像或时间序列中一点的值用其邻域中各点值的中值代替, 让该点的值接近其真实值, 从而消除孤立的噪声点。设在某一个时间窗口, 信号样本为 $x(i-N), \dots, x(i), \dots, x(i+N)$, 其中 $x(i)$ 为位于窗口中心的样本值。对这 N 个信号样本值按从小到大排序后, 其中值在 i 处的样值, 便定义为中值滤波的输出值, 如下式所示:

$$y(i) = \text{Med}(x(i-N), \dots, x(i), \dots, x(i+N)) \tag{4}$$

自适应滤波算法[7][8], 就是利用前一时刻已获得的滤波器参数, 自动调节现时刻的滤波器参数, 以适应信号和噪声未知的或随时间变化的统计特性, 从而实现最优滤波。自适应滤波器实质上就是一种能调节其自身传输特性以达到最优的维纳滤波器, 它不需要关于输入信号的先验知识, 计算量小, 特别适用于实时处理。由于无法预知信号和噪声的特性或者它们是随时间变化的, 因此可设计自适应滤波器,

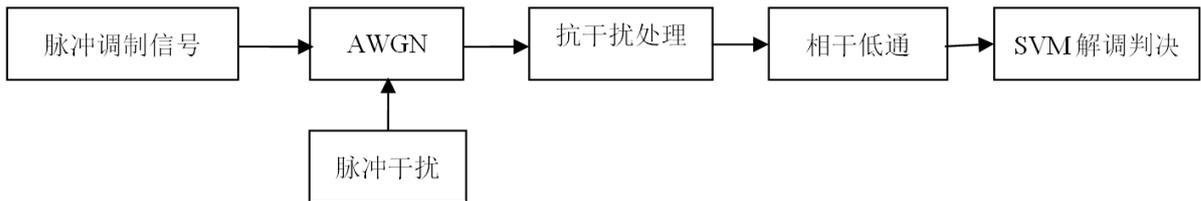


Figure 3. Anti-jamming system
图 3. 抗脉冲干扰系统

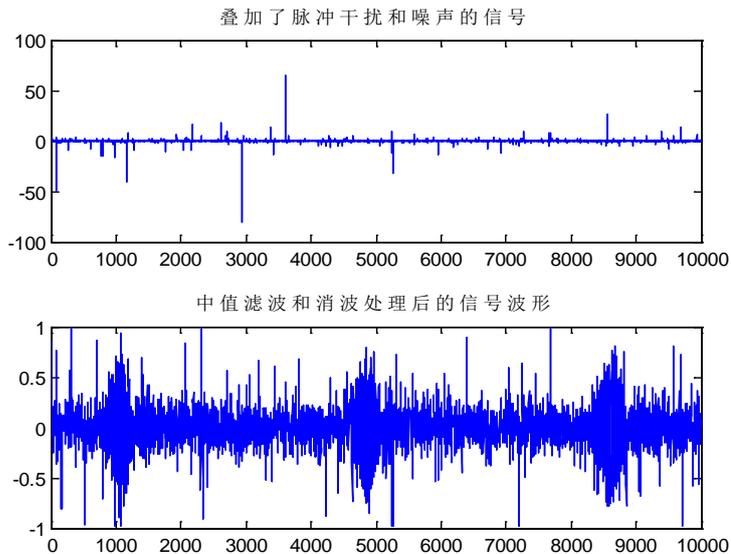


Figure 4. Superimposed pulse interference modulation signal and the limited signal after median filtering
图 4. 叠加了脉冲干扰的调制信号以及经过中值滤波消波后的信号

以跟踪信号和噪声的变化。本论文主要采用的基于 LMS 自适应滤波算法, 主要原理即输入信号 $x(n)$ 通过参数可调数字滤波器后产生输出信号 $y(n)$, 将其与期望响应 $d(n)$ 进行比较, 形成误差信号 $e(n)$, 并以此通过某种自适应算法对滤波器参数进行调整, 最终使 $e(n)$ 的均方值最小。

3.3. SVM 分类

SVM 分类是针对线性可分情况进行分析, 而对于线性不可分的情况, 则通过非线性映射将低维输入空间线性不可分的样本转化到高维特征空间使其线性可分, 从而使得在高维特征空间对样本的非线性特征进行线性分析成为可能。它基于结构风险最小化理论, 在特征空间中建构最优分割超平面, 使得学习器得到全局最优化, 并在整个样本空间的期望风险以某个概率满足一定上界。

4. 仿真结果与分析

由于接收信号中脉冲干扰的随机性较大, 因此中值滤波需要选择合适的窗长, 才能有效抑制窗内的尖峰脉冲。但输出依旧含有残余脉冲干扰, 所以需要对其进行限幅, 本文将限幅阈值设置为调制波形最大值的 1.5 倍, 处理结果由图 4 可见, 对脉冲干扰抑制较为明显。

此后输出波形依旧含有残余噪声和干扰, 但总体分布趋于平缓, 随机性大大降低, 因此可以利用最小均方误差(LMS)自适应滤波处理, 选择合理的步长, 并且对部分码元进行训练以得到合理的滤波器参数后, 即可利用训练好的滤波器参数来对接收信号进行滤波处理。由图 5 左图可以观察滤波结果。

自适应滤波后, 波形总体特征与发端调制信号差异不大, 说明上述处理对噪声和干扰抑制明显。接着将该信号乘以相干载波后再低通滤波, 得到基带信号, 如图 5 右图所示。

经过大量仿真表明, 该接收信号特征较为明显, 如图 5 左图所示, 可以用匹配解调或幅度判决解调。只有少数码元仍有随机性, 导致眼图畸变, 因此很难精准取得位同步, 而 SVM 判决可根据输入码元的主要波形特征进行分类, 并不需要实时取得位同步位置, 因此完全可以解决脉冲干扰随机性带来的不确定性。

5. 结论

图 6 右图的仿真结果表明, 本文提出的基于双极性脉冲调制的抗脉冲干扰方法适用范围更广, 解调性能优于匹配滤波约 2 dB, 而幅度判决解调方案对于脉冲干扰性能明显性能较差。该方案不仅有效降低了脉冲干扰的影响, 且对位同步精度的要求大幅降低, 有较高的抗脉冲干扰的能力。表 1 数据显示, 排

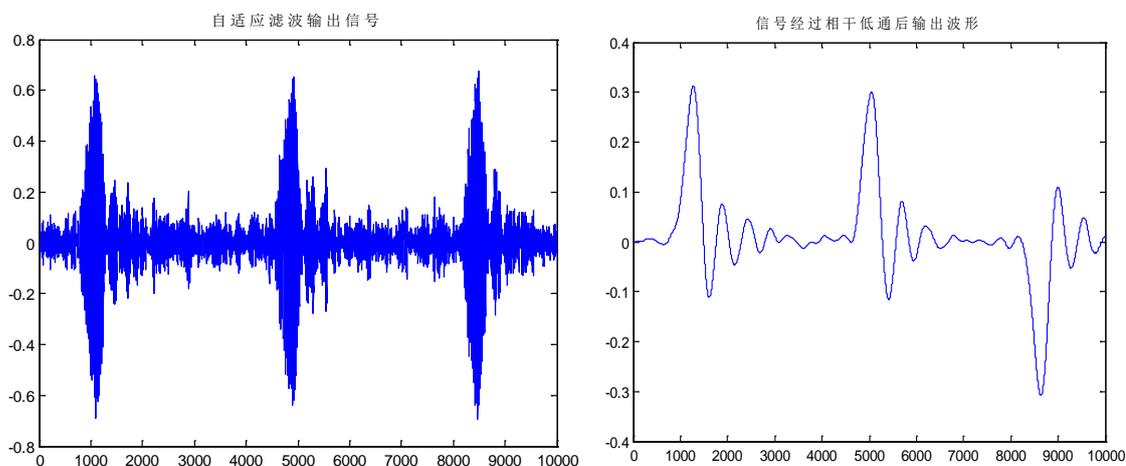


Figure 5. Adaptive filtering output signal and low-pass coherent output signal

图 5. 自适应滤波输出信号以及相干器输出信号

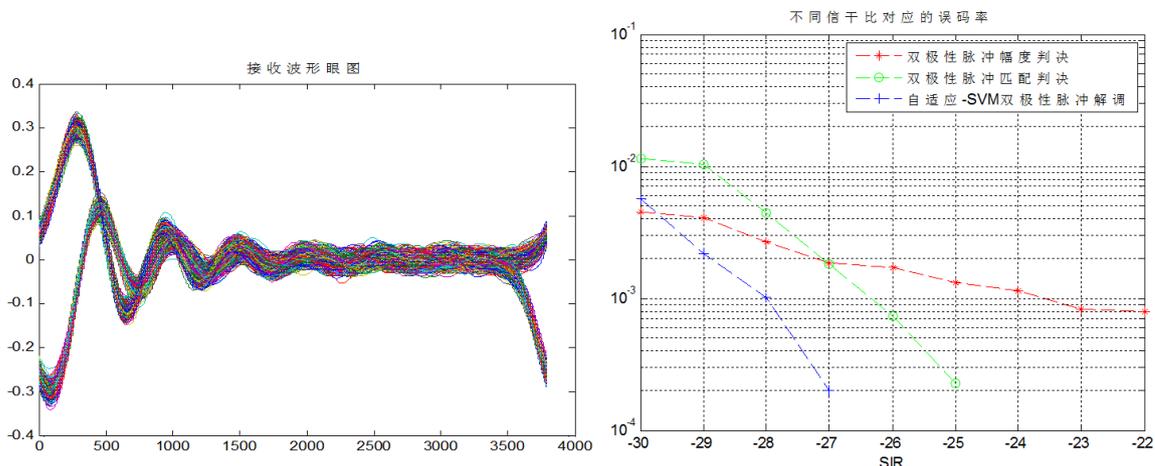


Figure 6. Receiver waveform eye diagram and bit error rate results
 图 6. 接收端波形眼图和误码率图

Table 1. Demodulation performance of impulse jamming system
 表 1. 抗脉冲干扰系统解调性能

SIR(dB)	SNR(dB)	误码率
-50	2	0.00125
-49	2	0.0005
-48	2	0
-47	2	0
-46	2	0
-45	2	0
-44	2	0
-43	2	0
-42	2	0

除高斯白噪声的影响, 本论文提出的抗脉冲干扰方案仅仅针对脉冲干扰的解调性能非常明显。

参考文献 (References)

- [1] 靳一, 吴乐南, 余静, 陈艺方. MPPSK 调制解调器研究[J]. 信号处理, 2012, 28(7): 917-925.
- [2] 应鹏魁, 吴乐南. 一种新的 MPPSK 调制解调器实现结构[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2012, 42(2): 204-208.
- [3] 张鹏, 吴乐南. MPPSK 调制的跳时多址研究[J]. 信号处理, 2015(4): 386-392.
- [4] 徐红梅. 基于 SVM 多分类判决的 MPPSK 信号检测研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2015.
- [5] 宋宝军. 基于中值滤波的冲激引信毛刺脉冲消除方法[J]. 探测与控制学报, 2014(3): 52-55.
- [6] Fu, T. and Zhou, S. (2009) VLF Atmospheric Noise Suppression Using Median Filter and Wavelet Threshold Denoising. 2009 2nd International Congress on Image and Signal Processing, Tianjin, 17-19 October 2009, 1-4. <https://doi.org/10.1109/cisp.2009.5301875>
- [7] 王鲁彬, 翟景春, 熊华. 自适应滤波算法研究及其 Matlab 实现[J]. 现代电子技术, 2008, 31(3): 174-175+178.
- [8] 孟小猛. 自适应滤波算法研究及应用[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京邮电大学, 2010.

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