

doi: 10.7690/bgzd.2018.12.006

基于 LabVIEW 的伪码调相脉冲引信抗 GWN 干扰研究

杜松¹, 谢鑫¹, 祁德元²

(1. 海军航空大学七系, 山东 烟台 264001; 2. 中国人民解放军 91115 部队综合处, 浙江 舟山 316000)

摘要: 为解决当前伪码调相脉冲引信抗干扰研究资料相对匮乏的问题, 研究伪码调相脉冲引信在高斯白噪声 (white gaussian noise) 干扰下的抗干扰性能。在分析伪码调相脉冲引信工作原理和抗干扰原理的基础上, 利用 LabVIEW 进行模块化编程方法, 得到在不同码元宽度和伪码长度下伪码调相脉冲引信相关解调信号的抗 GWN 干扰仿真结果。结果表明: 伪码调相脉冲引信抗干扰性能受码元宽度和伪码长度的影响, 码元宽度越窄, 伪码长度越长, 抗干扰效果越好。

关键词: 伪码; 多普勒频率; 抗 GWN 干扰; LabVIEW

中图分类号: TJ430.2 **文献标志码:** A

Research on Anti-GWN Interference of PN Code and Phase Modulation Fuse Pulse Based on LabVIEW

Du Song¹, Xie Xin¹, Qi Deyuan²(1. No. 7 Department, Navy Aeronautical University, Yantai 264001, China;
2. Comprehensive Department, No. 91115 Unit of PLA, Zhoushan 316000, China)

Abstract: In view of the lack of research on the anti-interference performance of PN code and pulse-Doppler combined fuse, the anti-interference performance of this fuse under white Gaussian noise (GWN) condition is studied. Based on analyzing of the working principle and anti-interference principle of this fuse and using the modular programming method in LabVIEW, the anti-GWN interference simulation results of PN code and pulse-Doppler combined fuse related demodulated signals with different symbol width and PN code length are obtained. The results show that the anti-interference of the PN code and pulse-Doppler combined fuse is affected by the symbol width and the PN code length. The narrower the symbol width, the longer the PN code length, the better the anti-interference effect.

Keywords: pseudo random code (PN code); Doppler frequency; anti-GWN interference; LabVIEW

0 引言

引信是导弹终端毁伤的控制系统, 在现代战争中有着不可或缺的地位。伪码调相脉冲引信是一种伪随机码和脉冲复合调制的引信, 具有灵敏度高、抗干扰能力强和截止特性好等特点, 成为当前引信研究的热点方向^[1]。LabVIEW 是美国 NI 公司推出的一款优秀的图形化编程语言, 使用图标代替文本创建应用程序, 并拥有大量与其他应用程序通信的 VI 库。LabVIEW 操作灵活, 容易编制良好的人机界面, 已被广泛应用到图形仿真、数据采集和测量分析等领域^[2-3]。

在引信工作中不可避免地存在噪声干扰, 抗噪声干扰能力影响了引信质量^[4]。通过对伪码调相脉冲引信工作原理和抗干扰原理分析, 并利用 LabVIEW 图形化编程优势对伪码调相脉冲引信抗 GWN 的干扰进行仿真, 进一步了解 GWN 干扰下码

元宽度和伪码长度对伪码调相脉冲引信工作性能的影响。

1 伪码调相脉冲引信工作原理

伪码调相脉冲引信工作原理如图 1^[5]所示。伪随机码生成器产生的伪随机码一路经过脉冲调制后, 在 $0/\pi$ 调相器中对振荡器产生的中频信号进行 $0/\pi$ 调相, 经射频处理由天线发射出去; 另一路伪随机码延时后作为参考码输入相关器中。经过目标反射的回波信号同振荡器产生的本振信号一同进入混频器, 通过滤波后得到含有伪随机码和多普勒信号的延时信号, 经过放大器处理后与来自延时器的参考码做码相关处理、多普勒滤波和幅度检波得到目标距离和速度等信息; 经过信号处理, 当满足一定门限时, 输出启动信号触发执行级产生引爆信号^[6]。

收稿日期: 2018-10-12; 修回日期: 2018-10-28

作者简介: 杜松(1992—), 男, 山东人, 硕士, 从事军用目标中程探测研究。

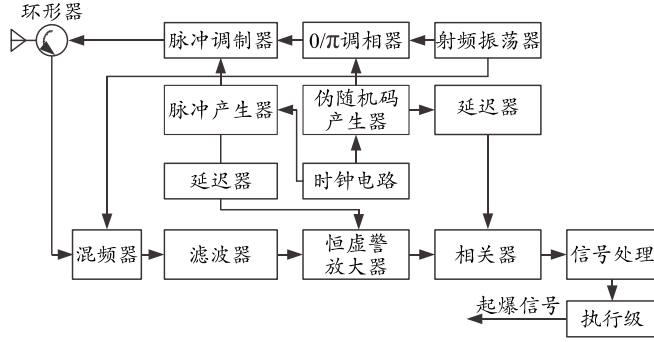


图 1 伪码调相脉冲引信原理

噪声按照对信号作用的方式可以分为加性噪声和乘性噪声。加性噪声和信号是相加的关系，无论有无信号，都存在加性噪声。加性高斯白噪声是一种功率谱函数为常数，幅度服从高斯分布的噪声信号^[7]。这种信号易于分析，被广泛用于信号处理系统噪声性能分析中。笔者研究高斯白噪声条件下伪码调相脉冲引信抗干扰性能。

加性高斯白噪声 $n(t)$ 表示为

$$n(t) = n_c(t) \cos \omega_c t - n_s(t) \sin \omega_c t. \quad (1)$$

式中：

$$\begin{aligned} n_c(t) &= R(t) \cos \varphi(t), \\ n_s(t) &= R(t) \sin \varphi(t), \\ R(t) &= \sqrt{n_c^2(t) + n_s^2(t)}, \\ \varphi(t) &= \arctan \frac{n_s(t)}{n_c(t)}. \end{aligned}$$

$$S_r = U_r'^2(t) = \frac{A_r^2}{2PT_c} \int_0^{NT_c} \left[\sum_{i=0}^{P-1} \text{rect}\left(\frac{t - iT_m - T_m/2 - \tau}{T_m}\right) p_i \right]^2 dt = \frac{A_r^2}{2}. \quad (6)$$

由式(4)、(5)可得相干解调后的输入信噪比为

$$r_1 = \frac{S_r(t)}{N'(t)} = \frac{A_r^2 T_m}{2n_0}. \quad (7)$$

回波信号同本振信号混频，将混频输出的信号幅度归一化得到

$$U_h(t) = p'(t - \tau) \cos(\omega_d t) + \frac{n_c(t)}{A_r}. \quad (8)$$

本地延迟码 $p'(t - \tau_d)$ ，经过码相关处理得到

$$\begin{aligned} R_{US}(\tau_d) &= \frac{1}{PT_m} \int_0^{PT_m} U_h(t) p'(t - \tau) dt = \\ &R_{SS}(\tau_d - \tau) + R_{NS}(\tau_d). \end{aligned} \quad (9)$$

式中： $R_{SS}(\tau_d - \tau) = \frac{1}{PT_m} \int_0^{PT_m} p'(t - \tau) \cos \omega_d t p'(t - \tau_d) dt$ ；

$$R_{NS}(\tau_d) = \frac{1}{PT_m} \int_0^{PT_m} \frac{n_c(t)}{A_r} p'(t - \tau_d) dt.$$

设伪码调相脉冲引信中的调制脉冲周期 T_r 和码元宽度 T_m 相同，则伪随机码信号表示为

$$p(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^{P-1} \text{rect}\left(\frac{t - T_m/2 - iT_m - kT_r}{T_m}\right) C_i. \quad (2)$$

式中： p 是伪码的序列长度； $\text{rect}(t/T_m) = \begin{cases} 1 & |t| \leq T_m/2 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$ 是调制脉冲信号； $C_i = \{+1, -1\}$ 是伪码序列。

2 抗干扰原理分析

设高斯白噪声的功率谱密度为 $2/n_0$ ，受高斯白噪声干扰的回波信号表示为

$$U_r(t) = A_r p(t - \tau) \cos[(\omega_0 + \omega_d)t] + n(t). \quad (3)$$

式中： A_r 是回波的幅值； τ 是延迟时间； ω_0 是载波频率； ω_d 是多普勒频率。

为了保证信号不失真，设滤波的带宽与伪随机码相同，则白噪声的有效带宽为 $1/T_m$ ，滤波后输出的信号表示为

$$U_r'(t) = A_r p(t - \tau) \cos[(\omega_0 + \omega_d)t] + n'(t). \quad (4)$$

$n'(t)$ 的平均功率是

$$N'(t) = \langle n'^2(t) \rangle = \frac{n_0}{2} \frac{2}{T_m} = \frac{n_0}{T_m}. \quad (5)$$

滤波输出信号的平均功率为

当弹目间的距离等于最佳起爆距离时，相关输出得到最大值，即

$$R_{SS}(\tau_d - \tau)_{\max} = R_{SS}(0) = \sin c(PT_m \omega_d). \quad (10)$$

相关输出的噪声平均功率

$$\begin{aligned} N'' = \langle R_{NS}^2(\tau_d) \rangle &= \frac{1}{(PT_m)^2} \int_0^{PT_m} \int_0^{PT_m} \frac{n_0}{A_r^2 T_m} \sin c\left(\frac{\pi(t_1 - t_2)}{T_m}\right) \times \\ &\exp[j2\pi f_0(t_1 - t_2)] p'(t_1 - \tau_d) p'(t_2 - \tau_d) dt_1 dt_2. \end{aligned} \quad (11)$$

当 $t_1 - t_2 = 0$ 时， N'' 取到最大为

$$N''_{\max} = \frac{1}{(PT_m)^2} \cdot \frac{n_0}{A_r^2 T_m} (PT_m)^2 = \frac{n_0}{A_r^2 T_m}. \quad (12)$$

由此可以得到输出信噪比为

$$r_2 = \frac{R_{SS}^2(\tau_d - \tau)_{\max}}{N''_{\max}} = \frac{T_m A_r^2 \sin^2 c(PT_m \omega_d)}{n_0}. \quad (13)$$

由式(7)、式(13)可以得到伪码调相脉冲引信工作的总调制增益为

$$G = \frac{r_2}{r_1} = 2 \sin^2 c^2 (PT_m \omega_d) \quad (14)$$

图 2 是伪码调相脉冲引信调制增益变化，可以看出：1) 伪码调相脉冲引信总调制增益 G 随着多

普勒频率 ω_d 的增加逐渐减小，并趋于定值；2) 随着码元宽度 T_c 的增加，总调制增益 G 受多普勒频率 ω_d 影响逐渐增加；3) 随着伪码长度 P 的增加，总调制增益 G 受多普勒频率 ω_d 影响逐渐增加。

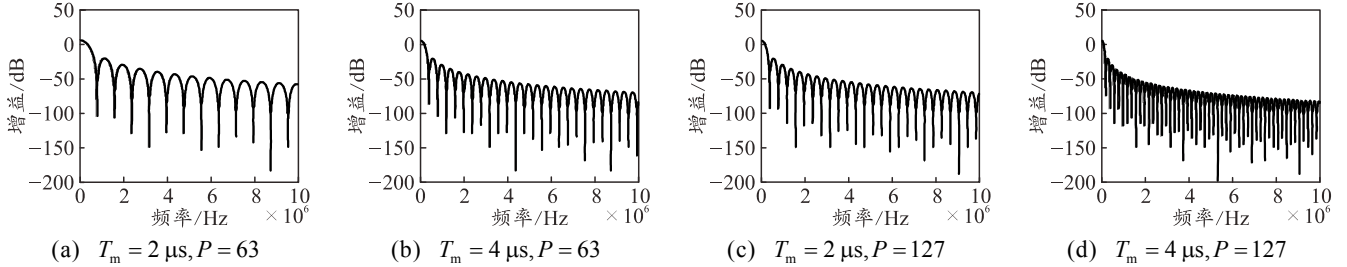


图 2 伪码调相脉冲引信总调制增益变化

3 抗 GWN 干扰分析与仿真

图 3 是伪码调相脉冲引信抗 GWN 干扰测试的界面，设置载频 20 MHz，调制脉冲 2 MHz，脉冲占空比 25%，多普勒频率是 5 kHz，截止频率 5.1 kHz，滤波阶数 4，采样率 100 MHz。

相关解调输出信号的包络频率为多普勒频率。图 4 分别是施加功率谱密度为 1、2、4 W/Hz 的 GWN 干扰下相关解调输出信号。从图 4 中可以看出：随着 GWN 的增强，相干解调信号的包络频率越来越不明显，通过检波得到多普勒信号变得困难，引信工作已经受到干扰而不能正常工作。

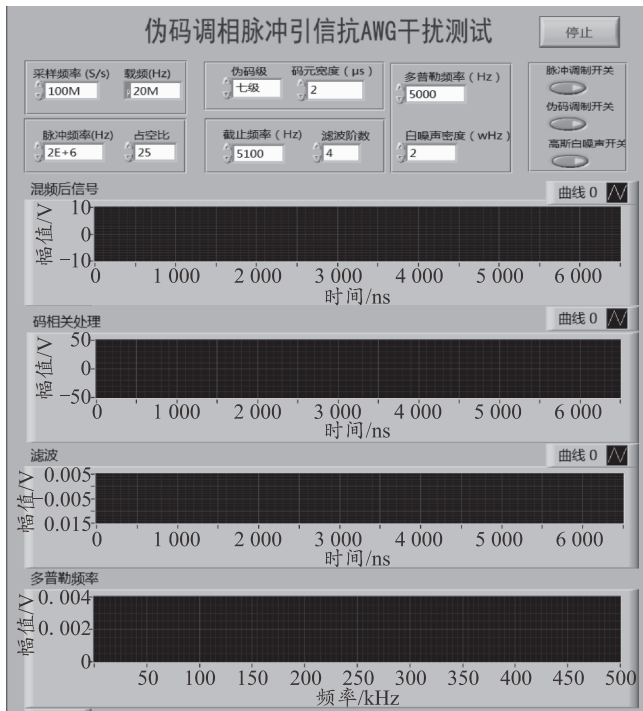


图 3 伪码调相脉冲引信抗干扰测试界面

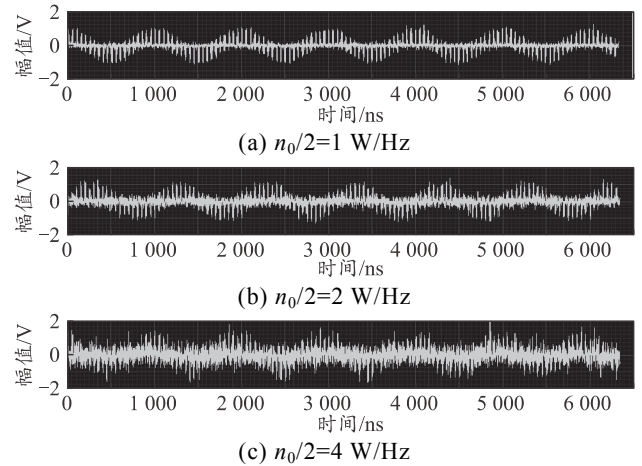


图 4 白噪声干扰下的码相关处理信号

设置白噪声功率谱密度为 2 W/Hz，伪码长度 127 位，其他参数不变，观测不同码元宽度下的多普勒滤波效果。图 5 为 $T_m=2 \mu s$ ， $T_m=4 \mu s$ ， $T_m=8 \mu s$ 滤波得到的多普勒频率。可以看出：随着码元宽度增加，多普勒信号受到的噪声干扰越来越明显。

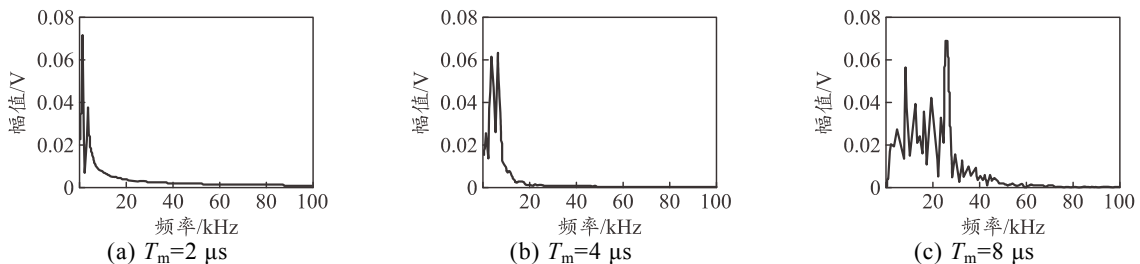


图 5 不同码元宽度下的多普勒频率

军经验教训，有利于尽快建设我军作战任务规划体系，实现跨越式发展。

参考文献：

- [1] 徐海江. 战斧导弹指挥和控制、任务规划系统[J]. 飞航导弹, 1995, 24(11): 35-38.
- [2] 龚钰哲. 美军任务规划系统发展研究[R]. 北京: 总装备部炮兵防空兵装备技术研究所, 2014: 1-12.
- [3] 谭跃进, 李菊芳, 徐一帆. 军用任务规划与管控技术[J]. 军事运筹与系统工程, 2010, 24(4): 23-28.
- [4] 迈克·圣克罗切. 联合作战计划制定流程(JOPP) - 高级参谋军官计划指南[M]. 范虎巍, 毛翔, 译. 辽宁: 辽宁大学出版社, 2013: 26-35.
- [5] 邢立宁, 陈英武. 任务规划系统研究综述[J]. 火力与指挥控制, 2006, 31(4): 1-4.

- [6] 赵国宏, 罗雪山. 作战任务规划系统研究[J]. 指挥与控制学报, 2015, 1(4): 391-394.
- [7] 沈成林, 陈璟, 王楠. 飞行器任务规划技术综述[J]. 航空学报, 2014, 35(3): 598-600.
- [8] 唐金国. 美军任务规划系统的现状、发展和关键技术[J]. 军事运筹与系统工程, 2003, 16(3): 62-65.
- [9] FRANK L. Using the Generalized Assignment Problem in Scheduling the ROSAT Space Telescope[J]. European Journal of Operational Research, 1999, 112(3): 531-541.
- [10] 张伟军, 贾传圣, 杨汝清. 基于时延 Petri 网模型的机器人装配任务规划[J]. 中国机械工程, 2002, 13(14): 1119-1124.
- [11] 高彬, 吕善伟, 郭庆丰, 等. 遗传算法在电子战干扰规划中的应用[J]. 北京航空航天大学学报, 2006, 32(8): 933-936.

(上接第 24 页)

设置白噪声功率谱密度为 2 W/Hz, 码元宽度为 2 μ s, 其他参数不变, 观测不同伪码长度下的多普勒滤波效果。图 6 分别为 31 位、127 位、511 位伪

码长度滤波得到的多普勒频率。可以看出: 随着伪码长度的增加, 多普勒信号受到噪声影响变小, 但影响的程度越来越不明显。

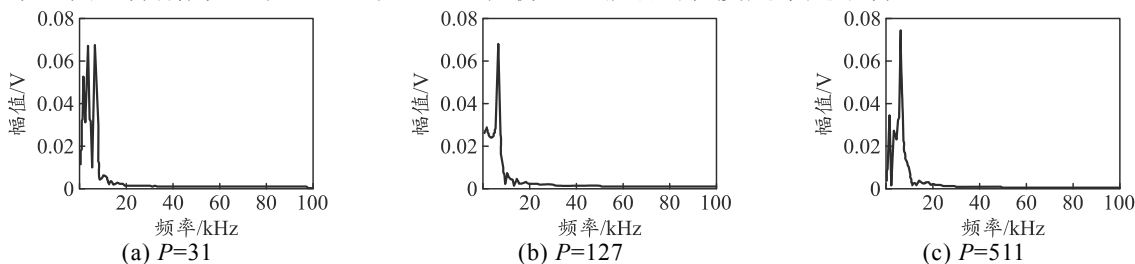


图 6 不同伪码长度下的多普勒频率

上述仿真结果表明: 1) 码元宽度 T_m 越窄, 伪码调相脉冲引信的距离分辨能力越强, 抗 GWN 干扰效果越好; 2) 伪码长度 P 越长, 抑制 GWN 干扰的能力越强, 但其抗干扰效果越来越不明显。

4 结束语

通过分析伪码调相脉冲引信工作原理和抗 GWN 干扰原理, 对比相关解调的输出信号抗干扰仿真结果可知: 伪码调相脉冲引信抗 GWN 性能受到码元宽度和伪码长度影响, 码元宽度越窄, 伪码长度越长, 引信抗干扰效果越好。

参考文献：

- [1] 崔占忠, 宋世和, 徐立新. 近炸引信原理[M]. 北京:

北京理工大学出版社, 2009: 35-56.

- [2] 岂兴明, 田京京. LabVIEW 入门与实战[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014: 132-140.
- [3] 教传宝. 虚拟仪器技术及其发展趋势[J]. 山西电子技术, 2016, 12(6): 92-93.
- [4] 黄光明, 赵惠昌. 伪随机码调相引信的抗干扰与干扰研究[J]. 兵工学报, 2004, 25(6): 84-88.
- [5] 路翠华, 李国林, 廖辉荣. 伪码调相脉冲引信抗线性调频干扰分析与仿真[J]. 电讯技术, 2009, 49(8): 45-48.
- [6] 朱磊, 程帅, 杨小龙, 等. 双位移随机脉冲位置调制技术在 DC-DC 变换器中的应用[J]. 兵工自动化, 2017, 36(1): 46-49.
- [7] 索文斌. 伪随机码脉冲多普勒引信干扰研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014: 18-22.