

针对脉冲多普勒引信的二维多假目标干扰

隋 鉴, 李国林

(海军航空工程学院, 山东 烟台 264001)

摘要: 脉冲多普勒引信具有距离速度二维选择能力,使传统噪声干扰和转发干扰难以对其形成有效干扰,为提高对脉冲多普勒引信的干扰效果,提出了一种针对脉冲多普勒引信的二维多假目标干扰。该方法能够在脉冲多普勒引信的距离-速度维均形成多假目标干扰,提高干扰信号突破引信的距离速度选择效率,且干扰参数能够根据需要灵活控制,理论分析和仿真结果表明该方法能够有效干扰脉冲多普勒引信,具有很强的实用性。

关键词: 脉冲多普勒引信; 干扰; 多假目标; 武器控制

中图分类号: TN972 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2016)03-0007-04

Two-Dimensional Multiple False Targets Jamming Against Pulse Doppler Fuze

SUI Jian, LI Guo-lin

(Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: Since Pulse Doppler (PD) fuze has the capability of range and velocity measurement, it is difficult for the traditional noise jamming and repeater jamming to implement effective jamming to it. In order to improve the jamming effect to PD fuze, a two-dimensional multiple false targets jamming method was proposed. This method can form multiple false targets jamming in both range and velocity, thus can improve the efficiency of breaking through the range and velocity selection of the fuze. Moreover, the jamming parameters can be altered flexibly as needed. Theoretical analysis and simulation results demonstrate that this jamming method can jam the PD fuze efficiently, and has very strong practicability in the field of electronic warfare.

Key words: pulse Doppler fuze; jamming; multiple false targets; weapon control

0 引言

引信作为导弹武器系统实现目标精确打击的重要控制部分^[1],已在现代战争中成为电子干扰的重要作战对象^[2],同时也促使引信设计更加注重其抗干扰和引-战配合能力的提高。脉冲多普勒^[3-5]引信作为具有代表性的一种引信,可以利用数字信号处理系统,使引信兼具测距和测速能力^[6-7],并充分利用制导信息为引-战配合提供更多的弹目交会信息^[8],从而使其具有更好的抗干扰能力和引-战配合效率。文献[9-10]从脉冲多普勒引信采用的信号的时频特性和模糊函数出发,指出了脉冲多普勒体制本身具有很强

的抗干扰能力。文献[11]通过仿真分析,指出脉冲多普勒引信的相干处理使得噪声干扰难以获得相干处理增益,导致噪声干扰的功率利用较低,而且脉冲多普勒引信的距离和速度二维选择能力,使得欺骗干扰在转发时间和频率上必须非常精确^[12]。脉冲多普勒的优良性能,使其对突防目标构成极大威胁。

针对具有强抗干扰能力的脉冲多普勒引信,本文提出了一种距离-速度二维多假目标干扰,以提高对抗脉冲多普勒引信的干扰效果和干扰效率。

1 脉冲多普勒引信工作原理

脉冲多普勒引信是应用多普勒效应工作的一种脉冲体制引信,它具有脉冲引信和连续波多普勒引信两种体制的优点,同时克服了它们各自的缺点^[13]。下面对其工作原理进行简要分析。

其工作过程为:目标反射回来的回波信号由天线

收稿日期:2015-03-10

修回日期:2015-04-22

基金项目:国家自然科学基金(61372027)

作者简介:隋 鉴(1983—),男,山东龙口人,博士生,助工,研究方向为无线电引信干扰。

接收后输入混频器,与基准信号进行混频,混频后的信号经视频放大后,通过距离选通电路对回波信号进行距离选择,有用信号经多普勒信号处理电路提取多普勒信号,以对回波信号进行速度选择,当回波满足设计要求时便通过执行级输出起爆信号。

2 二维多假目标干扰原理

距离-速度二维多假目标干扰的产生主要基于数字射频存储(DRFM)的存储转发,DRFM可以高保真复制引信信号,并保持信号的相参性,便于充分利用高速数字处理技术实现灵巧的数字化干扰^[14-15]。图1所示为距离-速度二维多假目标干扰原理。当干扰机截获引信信号时,干扰机利用DRFM对截获信号进行相参存储,在干扰技术产生器的控制下,通过对存储信号进行多路读取,分别进行相应的多普勒调制,随后将经多普勒调制的多路信号进行叠加,叠加信号在系统控制下不断进行循环转发,直至干扰系统截获新的引信信号并对存储的信号进行更新,重复上述过程使转发干扰信号布满引信的整个重复周期。通过这样的循环转发,可以在无法通过侦察获得引信的距离门延迟时间时,利用脉冲多普勒引信的距离模糊保证干扰信号能够进入引信的距离门,由于进入距离门的干扰信号能够保持相参,从而在距离维和速度维均形成多假目标干扰。

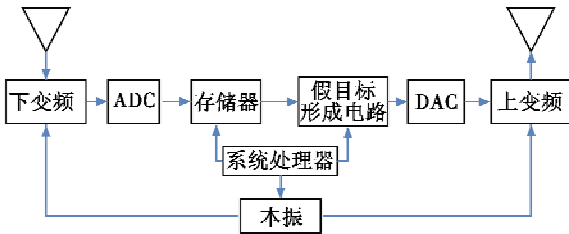


图1 二维多假目标干扰的原理框图

Fig. 1 Block diagram of two-dimensional multiple false targets jamming

假设PD引信的发射信号为

$$s_i(t) = A_0 \text{rect}(t/\tau_p) \exp(j\omega_0 t) \quad (1)$$

式中: $\text{rect}(t/\tau_p) = \begin{cases} 1 & nT_r \leq t \leq nT_r + \tau_p, n = 0, 1, 2, \dots \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$, T_r 为脉冲重复周期, τ_p 为发射脉冲宽度; A_0 为发射信号幅度; ω_0 为载波角频率。

干扰机在截获引信发射信号后,进行相应的多普勒调制,对不同多普勒调制的信号进行叠加,并对叠加信号进行循环转发形成干扰信号。因此,引信接收到的干扰信号可以表示为

$$\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} A_m s(t - \tau - t_m) \exp[j(\omega_d + \omega_{dm})t] \quad (2)$$

式中: A_m 为干扰信号幅度; $\tau = 2R_j/v_j$ 为引信接收到干扰信号的延时; t_m 为假目标的转发延时; $\omega_d = 2v_j/\lambda$ 为相对运动引起的多普勒频移; M, N 分别为转发次数和速度假目标的数量。

接收的干扰信号经过与本振信号混频后的输出为

$$\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} A_m A_i \text{rect}\left(\frac{t - \tau - t_m}{\tau_p}\right) \exp[j(\omega_d + \omega_{dm})t + \varphi_m] \quad (3)$$

式中, φ_m 是由不同延时引起的常数相位因子,对多普勒信号的提取没有影响,可以忽略。

经混频后输出的视频信号,进入距离选通电路对目标距离进行选择。距离选通电路根据引信的作用距离范围或导引头提供的制导信息,对接收信号的延时进行控制,只有接收信号的延时满足距离选通电路要求时才有输出。假设距离选通脉冲为

$$U_d(t) = \text{rect}\left(\frac{t - t_d}{\tau_d}\right) \quad (4)$$

式中, $\text{rect}\left(\frac{t - t_d}{\tau_d}\right) = \begin{cases} 1 & nT_r + t_d \leq t \leq nT_r + t_d + \tau_p, n = 0, 1, 2, \dots \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$ 。

距离选通电路的输出信号可以表示为

$$\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} U_d(t) A_m A_i \cdot \text{rect}\left(\frac{t - \tau - t_m}{\tau_p}\right) \exp[j(\omega_d + \omega_{dm})t] \quad (5)$$

只要干扰信号的延时满足 $nT_r + t_d \leq \tau + t_m \leq nT_r + t_d + \tau_d - \tau_p$, 则干扰信号能够通过引信的距离选通电路,进入引信的信号处理电路。

假设某个延时的干扰信号满足上述条件,则距离选通电路的输出信号为

$$\sum_{n=0}^{N-1} A_m A_i \text{rect}\left(\frac{t - \tau - t_m}{\tau_p}\right) \exp[j(\omega_d + \omega_{dm})t] \quad (6)$$

由式(6)可以看出,经引信距离选通的信号为不同多普勒信号的叠加,经多普勒信号处理后可以提取多普勒信息,形成速度多假目标。因此,经循环延时的干扰信号只要有一次延时能进入引信的距离波门,则可以在此延迟时间上形成多个速度多假目标。由于干扰信号布满引信的脉冲重复周期,因此可以有多个转发信号落入引信的距离选通脉冲内,从而形成距离维的多假目标干扰。由于对于干扰机来说引信自身的参数难以通过侦察来获取,为了干扰引信,通过控制于干扰信号的延时和多普勒频率使其布满引信的可能选取的距离和速度范围,使干扰信号在距离和速度维形成多假目标干扰,可以提高干扰信号突破引信距离和速度选择的概率,从而提高干扰的效率。

3 二维多假目标干扰效果分析

本文设计了仿真实验对二维多假目标的干扰效果进行仿真分析。实验假设被干扰的脉冲多普勒引信的基本参数如下：脉冲宽度为 20 ns，脉冲重复频率为 500 ns，中心频率为 2 GHz，作用距离 15 m。干扰参数设置如下：速度维假目标数量为 10，假目标的多普勒调制范围为 10 ~ 100 kHz，假目标在距离维进行循环转发，使干扰信号布满整个脉冲重复周期，以保证干扰信号能够落入引信的距离选通门内。

由于 DRFM 能够高保真存储接收信号并保持其相干性，干扰信号能够顺利进入引信接收机，其经相干解调后输出的信号如图 2 所示。

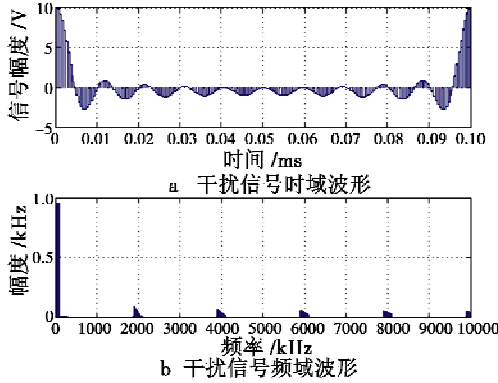


图 2 干扰信号相干解调后的输出波形

Fig.2 Outputs of jamming signal after coherent demodulation

从相干解调后的时域和频域输出波形可以看出，干扰信号的时域输出波形为多个多普勒信号的叠加，造成干扰信号的频域展宽，而且经多次转发后对干扰信号在时域进行了展宽。由于脉冲多普勒引信采用距离选通对接收信号的延迟时间进行选择，在干扰机无法通过侦察准确获得引信的作用距离时，时域展宽能够保证干扰信号顺利进入引信的距离门，从而对引信产生干扰。干扰信号经过引信的距离选通后输出的波形如图 3 所示。

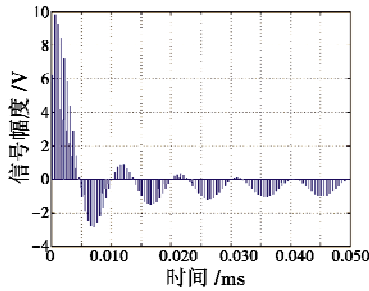


图 3 干扰信号经距离选通后输出波形

Fig.3 Waveform of output signal after range gating

距离选通的结果相当于距离门对于干扰信号的取样，脉冲多普勒引信通常利用多普勒滤波器组提取经

距离选通的信号的多普勒信息，并结合制导信息、装订参数等，对信号的多普勒频率进行选择，以实现引信的速度选择。干扰信号经多普勒滤波器组后的延时 - 多普勒二维谱如图 4 所示。

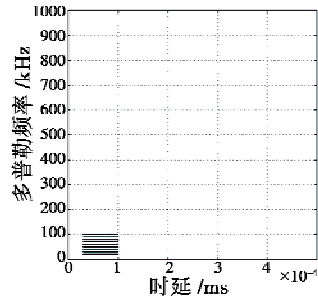


图 4 干扰信号作用下的延时 - 多普勒二维谱

Fig.4 Time delay-Doppler spectra of jamming signal

由仿真结果可以看出，在信号时延方面，干扰信号在距离维形成多假目标干扰，假目标布满引信的距离选通门；在多普勒频率方面，干扰信号在速度维产生速度多假目标。图 5 为在引信作用距离范围的同一距离单元内，干扰信号经多普勒滤波器组后输出的多普勒谱。由仿真结果可以看出，干扰信号在同一距离单元内形成了速度维多假目标干扰，假目标的数量、多普勒频率与仿真参数设置一致。上述仿真中，干扰信号形成的速度假目标在幅度和假目标频率间隔上保持固定，引信有可能采用一定的抗干扰措施对这种假目标进行抑制。为了提高干扰效果，可以采用随机多普勒调制使速度维形成的假目标幅度和频率间隔随机分布，形成随机起伏的速度多假目标干扰。其产生的干扰效果如图 6 所示。可见当假目标数量足够密集，随机多普勒调制干扰还能对脉冲多普勒引信形成压制于干扰效果。

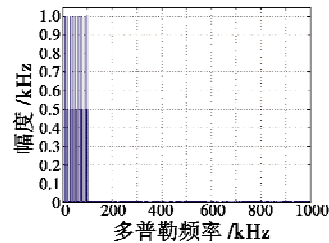


图 5 干扰信号形成的速度多假目标干扰

Fig.5 Multiple velocity false targets jamming

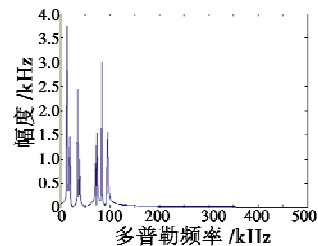


图 6 随机多普勒调制速度多假目标干扰

Fig.6 Random Doppler frequency modulated multiple velocity false targets jamming

由此可见,距离-速度二维多假目标干扰能够提高干扰信号突破脉冲多普勒引信的距离和速度选择的效率,在引信的距离和速度二维形成欺骗干扰,从而造成引信“早炸”,或干扰引信获得正确的弹目相对速度值,影响引信的起爆延迟控制,造成引信起爆不适时,降低引-战配合效率。因此,距离-速度二维多假目标干扰能够有效干扰脉冲多普勒引信,提高干扰效率,且可以通过灵活控制干扰参数以获得不同的干扰效果。

4 结论

针对具有距离和速度二维选择能力的脉冲多普勒引信,本文提出了基于 DRFM 的距离-速度二维多假目标干扰,通过理论分析和仿真结果表明,距离-速度二维多假目标干扰能够在距离和速度维形成欺骗干扰,多假目标干扰提高了干扰信号突破引信距离和速度选择的效率,而且对速度维假目标的数量和参数可以根据需要灵活控制,以形成不同的干扰效果。针对目前的脉冲多普勒引信探测体制,如果没有采取一定的技术应对措施,距离-速度二维多假目标干扰将是对抗脉冲多普勒引信的一种有效的手段,具有较强的实用参考价值。

参考文献

- [1] 马宝华. 网络技术时代的引信[J]. 探测与控制学报, 2006, 28(6): 2-5. (MA B H. Fuze in networked technology era[J]. Journal of Detection & Control, 2006, 28(6): 2-5.)
- [2] 陈永光. 从雷达电子战看现代战场电磁博弈[J]. 电光与控制, 2014, 21(6): 1-8. (CHEN Y G. Electromagnetic gambling in modern battlefield viewed from radar EW [J]. Electronics Optics & Control, 2014, 21(6): 1-8.)
- [3] YAVARI E, BORIC-LUBECKE O. Low if demodulation for physiological pulse Doppler radar[C]//Microwave Symposium(IMS), Florida, USA, 2014: 1-3.
- [4] LIU C, XI F, CHEN S Y, et al. A pulse-Doppler processing scheme for quadrature compressive sampling radar[C]//The 19th International Conference on Digital Signal Processing, Hongkong, China, 2014: 676-681.
- [5] HALIMI A, MAILHES C, MOREAU T, et al. Exploiting time and frequency information for delay/Doppler altimetry[C]//Proceedings of the 22nd European Signal Processing Conference(EUSIPCO), Lisbon, Portugal, 2014: 1088-1092.
- [6] 周军伟,刘斌. 基于 SOPC 技术的脉冲多普勒引信信号处理器设计[J]. 弹箭与制导学报, 2013, 33(2): 64-66. (ZHOU J W, LIU B. The design of pulse Doppler fuze signal processor based on SOPC technique[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2013, 33(2): 64-66.)
- [7] 高尔心,孙杰,余春明,等. 基于频谱分析恒虚警技术的脉冲多普勒引信[J]. 探测与控制学报, 2007, 29(6): 32-35. (GAO E X, SUN J, YU C M, et al. A pulse Doppler fuze based on constant false alarm rate technology of spectral analysis[J]. Journal of Detection & Control, 2007, 29(6): 32-35.)
- [8] 梁向如. AIM-120 导弹制导引信一体化系统分析与仿真[D]. 成都: 电子科技大学, 2009. (LIANG X R. Analysis and simulation of guidance integrated fuze in AIM-120 missile[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2009.)
- [9] 薛晓峰,张永顺,童宁宁. PD 雷达信号时频特性分析[J]. 现代防御技术, 2007, 35(1): 106-115. (XUE X F, ZHANG Y S, TONG N N. Time frequency analysis of PD radar signal[J]. Modern Defence Technology, 2007, 35(1): 106-115.)
- [10] 周新刚,赵惠昌,涂友超. 脉冲多普勒引信抗干扰性能评判方法和仿真[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(1): 207-211. (ZHOU X G, ZHAO H C, TU Y C. ECCM evaluation and simulation of pulse Doppler fuze[J]. Journal of System Simulation, 2011, 23(1): 207-211.)
- [11] 冯春环,杨硕,丁学飞. 脉冲多普勒引信抗干扰性能数字仿真[J]. 航空兵器, 2012(4): 27-29. (FENG C H, YANG S, DING X F. Numerical simulation of anti-jamming performance for pulse-Doppler fuze [J]. Aero Weaponry, 2012(4): 27-29.)
- [12] SCHLEHER D C. Electronic warfare in the information age [M]. Boston: Artech House, 1999.
- [13] 赵惠昌. 无线电引信设计原理与方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012. (ZHAO H C. Fundamentals and methodology of radio fuze [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2012.)
- [14] 郑光勇,袁翔宇,施敏良,等. 复制叠加多假目标干扰效果仿真分析[J]. 电光与控制, 2011, 18(5): 34-36. (ZHENG G Y, YUAN X Y, SHI M L, et al. Simulation and analysis of multi-false-target jamming effect by overlapping copied radar pulses [J]. Electronics Optics & Control, 2011, 18(5): 34-36.)
- [15] 汤建龙,曹旭源,斯海飞,等. 基于连续存储的 DRFM 干扰 Simulink 建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2013, 25(3): 540-543. (TANG J L, CAO X Y, SI H F, et al. Simulink modelling and simulation for jamming using DRFM based on continuous memory[J]. Journal of System Simulation, 2013, 25(3): 540-543.)