

无线电引信电子对抗技术的三个层次*

钱龙¹, 栗苹²

(1 中国空空导弹研究院, 河南洛阳 471009; 2 北京理工大学机电工程学院, 北京 100081)

摘要: 对无线电引信电子对抗技术系统层面的研究可以为无线电引信干扰技术与抗干扰技术的发展提供理论依据。文中以信息论的基本观点, 在建立的无线电引信信息模型基础上, 通过对无线电引信抗干扰技术的分析, 归纳了无线电引信干扰技术的三个层次——突破电磁场保护、信号收发相关保护和信号识别保护, 由此提出了对连续波多普勒引信实施干扰的三个条件。通过实验验证了理论分析的有效性。

关键词: 无线电引信; 连续波多普勒引信; 信息; 干扰

中图分类号: TJ434.1 文献标志码: A

Three Hierarchy of the Jamming Technology in Radio Proximity Fuze Electronic Warfare

QIAN Long¹, LI Ping²

(1 China Airborne Missile Academy, Henan Luoyang 471009, China;

2 School of Mechatronic Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The theoretical basis of developing the radio proximity fuze jamming technology and anti-jamming technology is provided by the systems-level study of electronic countermeasures technology for the radio fuze. Based on the information theory, the module of the radio proximity fuze is established. By the foundation of the module and the analysis of the anti-jamming technology, three hierarchy of the jamming technology are concluded, which are breakthrough the channel protection of electromagnetism field, the channel protection of correlation between the transmitted signal and received signal, and the protection of signal identification. According as three hierarchy of the jamming technology, three conditions must be met by the jamming signal for CW Doppler fuze. The exactness of the conclusion is verified by the outfield jamming experiments of the radio fuze.

Keywords: radio fuze; CW Doppler fuze; information; jamming

0 引言

无线电引信与雷达、制导和通信一起并列为电子对抗的四大领域。随着无线电引信技术的发展, 在不断提高其抗干扰性能的同时也推动着无线电引信干扰技术的发展。文中从信息论的基本观点出发, 依据建立的无线电引信信息模型, 归纳出了无线电引信电子对抗技术的三个层次, 并以此分析了连续波多普勒引信干扰技术必须具备的条件。

1 无线电引信信息模型

1.1 引信信息模型

引信是利用环境信息和目标信息(或按指令

信息), 在预定条件下引爆或引燃战斗部装药的控制装置或系统^[1]。从其发展史来看, 引信的起爆控制系统已由早期的依赖能量实施引爆发展到依赖信息实施起爆控制。引信系统信息获取、处理以及完成状态控制和发火控制的引信系统信息关系模型^[2]如图1所示。

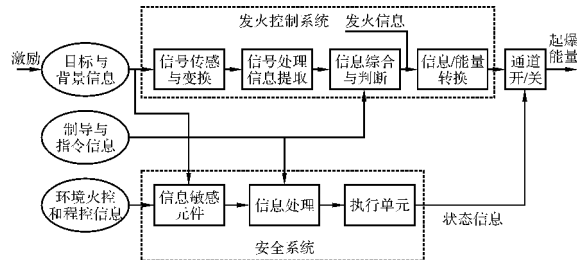


图1 引信系统信息关系模型

* 收稿日期: 2009-02-19

作者简介: 钱龙(1973-), 男, 重庆人, 高级工程师, 博士, 研究方向: 目标探测, 信息对抗。

根据申农的信息传递模型,进一步简化引信系统信息关系模型可以得到图 2 所示的引信信息模型。从信息传递的意义上来说,引信安全系统等效于信道“开关”。“开关”的“通”“断”由安全系统状态控制。当“开关”未接通时,引信不能进入待发状态。图 2 中信源代表引信目标、环境或其它信息来源,信道指引信通过某种物理场建立起与目标之间信息传递的通道。信源输出 X 经信道传输成为引信的输入信号,该信号经信号识别与“译码”滤除噪声和干扰,输出携带目标信息的目标信号 X_c ,引信信号处理系统完成从 X_c 中提取弹目相对位置和相对运动参数信息,依据选定的起爆控制原则适时输出控制信号。

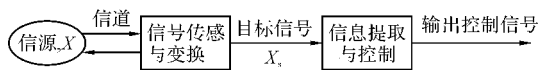


图 2 引信信息模型

1.2 无线电引信信息模型的建立

无线电引信是利用电磁波获取目标信息的近炸引信。它与目标之间的信道通过电磁场建立。无线电引信的信号处理分为高频信号处理和低频信号处理两部分,分别对应于带有传感器的前端信号检测和提取目标信息的信号识别。无线电引信的高频信号处理,只是对回波信号在频域上进行了平移,并没有取出目标回波信号中的任何信息,其作用类似于通信系统中的译码。无线电引信“译码”后将携带目标信息的信号,输入给引信低频信号处理电路进行信号识别。因此,对于引信实现炸点控制这个根本目的来说,无线电引信的高频信号处理只是作为信息传递的通道,起到信道译码的作用。这样,无线电引信的信道由两部分构成:一部分是电磁场信道;另一部分是信号相关处理信道。

综上所述,建立如图 3 所示的无线电引信信息模型。在无线电引信信息模型中,目标信息经过电磁场和信号相关处理两层信道的传输,以及信号识别一层的变换被引信获取。无线电引信的信息模型反映了无线电引信利用电磁波获取目标信息,实施炸点控制的整个信息传递过程。

2 无线电引信对抗技术层次分析

无线电引信必须利用目标信息来实施弹丸

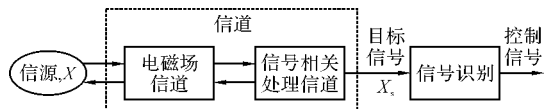


图 3 无线电引信信息模型

的炸点控制,而目标信息需要经过引信电磁场信道、信号相关处理信道以及信号识别 3 个环节才能为引信所获取。为此,无线电引信一方面要保证它能获取为实现炸点控制所需要的足够的信息,另一方面又要为信息所经过的环节提供保护,以对干扰信号进行抑制。文中将这 3 个环节的抗干扰保护分别称为电磁场保护、信号收发相关保护和信号识别保护。

无线电引信的电磁场保护,一般采用空间选择、极化选择、频率选择、时间选择和增大发射功率等多种方法^[8]实现。空间选择由天线或天线阵及其控制电路实现,例如采用窄波束天线,调低天线副瓣电平和副瓣对消等技术;极化选择是利用有用信号与干扰信号在电波极化上的差异来抑制干扰;频率选择是以有用信号与干扰信号的频谱不同为基础,包括新频段开发、跳频、载频有意偏散和频率分集技术等;时间选择是以尽量靠近目标才使引信通电进入正常工作为主要方法实现,如远距离接电技术。

无线电引信的第二层信号收发相关保护,利用发射信号与回波信号之间的相关性抑制干扰信号^[4]。无线电引信通过自差收发机的差拍接收或外差接收机的混频处理完成信号的解码功能,一般采用减小自差收发机牵引频带带宽和降低外差接收机寄生耦合等技术实现。

为了实现从目标信号 X_c 中获得有用信息,无线电引信在信号识别这一环节通过对选定的控制量或控制信息进行提取,区分干扰信号,适时输出起爆控制信号。这些信息包括弹目的相对位置和相对运动两种信息。弹目相对位置信息的获取通过采用具有距离截止特性的信号结构实现,如调频、脉冲、伪随机码调相等。弹目相对运动信息通过对多普勒信号的特征量提取获得,一般有幅值特征提取,采用门限比较、增幅速率选择和大信号闭锁等技术;频率特征提取,采用窄带滤波、频率变化率选择和 ECCM 通道等技术;信号持续时间特征提取,采用时间积分电

路、脉冲计数电路或逻辑电路等实现。这些信号识别技术在获取目标有用信息的同时,也增强了无线电引信在信号识别环节的抗干扰保护。

通过分析可以看出,无线电引信采用多种抗干扰技术设置了三层保护,即电磁场保护,信号收发相关保护和目标特征信息的信号识别保护。作为对立面的无线电引信干扰技术,则必须突破无线电引信这三层抗干扰保护,才能实现干扰引信的目的。首先,干扰技术需要突破引信的电磁场保护,使干扰信号能够进入引信的信道;其次,干扰技术需要突破引信的信号收发相关保护,使干扰信号转变为引信的“有用信号”,能够通过引信的检测;最后,干扰技术还必须突破引信的信号识别保护,使被引信检测出的“有用信号”能够提供引信所需的目标特征信息,达到欺骗引信的目的,完成欺骗性干扰。

对应于无线电引信三层抗干扰保护,无线电引信干扰技术可归纳为3个层次:第一层,实现突破无线电引信的电磁场保护;第二层,突破无线电引信的信号收发相关保护;第三层,突破无线电引信的信号识别保护。

3 连续波多普勒引信干扰条件

连续波多普勒引信是利用弹目接近过程中电磁波的多普勒效应工作的无线电引信。由于连续波多普勒引信受使用条件限制,不容易实现严密的电磁场保护。要突破它的电磁场保护,干扰信号必须满足两个条件:一是能量条件,它必须具备被干扰引信探测信道正常工作时所需要的能量;二是频率条件,干扰频率必须落在引信接收通带以内。以目前电子对抗的技术水平,干扰技术要满足这两个条件基本不存在困难。这两个条件是连续波多普勒引信实施干扰的初步条件。

以提取多普勒信号的工作方式不同,连续波多普勒引信可以分为自差式多普勒引信和外差式多普勒引信两种,分别依靠自差收发机和混频器实现信号收发相关保护。

自差式多普勒无线电引信采用自差收发机(信号的发射和接收共用一个系统)作为探测装置,完成信号的发射和检测功能,检波输出多普

勒信号。当干扰信号作用于自差收发机时,由于干扰信号与引信发射信号不相干,所以在干扰信号作用下的自差收发机是一个非自持系统。干扰信号频率与自差收发机固有频率之间差异的大小导致自差收发机的工作状态不同。干扰信号要突破这层保护,必须满足自差收发机在不同工作状态的条件,这些条件主要体现在自差收发机的幅频响应特性上。

外差式多普勒引信的发射和接收系统相互独立,通过混频器功能性地耦合起来。混频器将目标反射信号与本振信号进行混频,滤波输出多普勒信号。由于混频通常依靠器件的非线性特性实现,为干扰信号突破这层保护提供了条件。

无论自差式多普勒引信还是外差式多普勒引信,干扰信号要突破它的信号收发相关保护都必须满足一定的条件。由于干扰信号满足这些条件仅是将干扰信号转变为引信的“有用信号”,实现顺利通过引信的检测环节。这些条件可以认为是连续波多普勒引信实施干扰的基本条件^[5-6]。

目标信息经过引信电磁场信道和信号收发相关信道两层的传输,进入引信的信号识别环节。对于连续波多普勒引信,目标信息体现在从目标回波信号提取的多普勒信号之中。为此,连续波多普勒引信采用多种信号处理技术增加对多普勒信号特征量的识别,以提高它在这两方面的性能。这些特征量包括多普勒信号的幅值、幅值变化率、频率、频率变化率、作用出现时间、作用持续时间、信号波形等。干扰信号要突破这层信号识别保护,必须具备多普勒信号的这些特征量,满足连续波多普勒引信信号识别的条件。从目前对抗技术的发展来看,这是对抗双方较量的焦点。因此,连续波多普勒引信的信号识别条件是实施干扰的关键条件。

综合上述分析,对连续波多普勒引信实施干扰,干扰信号必须满足初步条件、基本条件和关键条件。目前的干扰技术满足初步条件基本不存在困难,重点需解决连续波多普勒引信实施干扰的基本条件和关键条件。

4 实验验证

实验选用有代表性的某种自差式多普勒引

信 A 作为干扰对象。实验系统由干扰源、引信 A 和测试设备三部分组成,如图 4 所示,其中干扰源先产生低频任意信号,并对高频信号源进行调制,再由天线发射干扰射频信号。

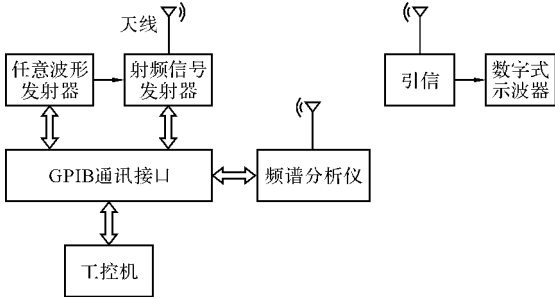


图 4 实验系统框图

依据文中分析,干扰源生成满足引信 A 起爆控制信号特征要求的增幅正弦波。实验结果表明干扰信号对引信 A 有效,如图 5 所示,图中曲线 1 是引信 A 的检波信号,曲线 2 是引信 A 的启动信号。

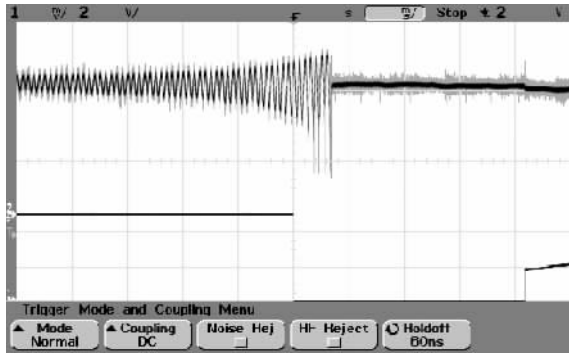


图 5 增幅正弦波干扰下引信 A 检波和点火端输出波形

当干扰信号的调制信号改为等幅锯齿波,其它条件不变,引信 A 未启动,如图 6 所示。

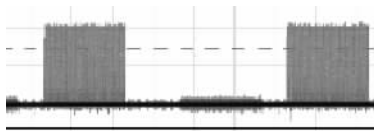


图 6 等幅锯齿波干扰下引信 A 检波和点火端输出波形

其原因在于引信 A 的增幅速率检测不仅检测多普勒信号正增幅,同时也对多普勒信号负增幅进行检测。等幅锯齿波不具备负增幅的特点,不满足干扰实施的关键条件。

5 结论

从信息论的基本观点出发,在引信信息模型的基础上建立了无线电引信的信息模型,并由此归纳出无线电引信干扰技术的 3 个层次:突破电磁场保护、信号收发相关保护和信号识别保护。依据确立的无线电引信电子对抗技术的层次,结合连续波多普勒引信的特点,提出连续波多普勒引信实施干扰必须具备的 3 个条件。通过实验验证了文中分析的有效性。

参考文献:

- [1] 叶英. 中国军事百科全书:引信[M]. 北京:军事科学出版社,1997.
- [2] 李国林. 引信信息理论与起爆控制研究[D]. 北京:北京理工大学机电工程学院,1999.
- [3] 杜汉卿. 无线电引信抗干扰原理[M]. 北京:兵器工业出版社,1988.
- [4] 韩传钊,崔占忠,施聚生. 自差式连续波多普勒引信信道泄漏[J]. 航天电子对抗,2000(2):17-19.
- [5] 钱龙,栗苹,李月琴,等. 自差式连续波多普勒引信干扰机理研究[J]. 弹箭与制导学报,2005,25(4):994-996.
- [6] 钱龙,栗苹,李月琴,等. 多普勒无线电引信自差机非共振特性研究[J]. 北京理工大学学报,2006,26(7):606-609.