

相控阵末制导雷达及其干扰技术研究进展

盛骥松¹, 尤逸²

1. 中国船舶重工集团公司第七二三研究所, 扬州 225001

2. 江苏科技大学电子信息工程学院, 镇江 212003

摘要 相控阵末制导雷达导引头技术是如今世界各国重点关注的课题。概述了国内外相控阵导引头的发展情况, 对比了相控阵雷达与常规机械雷达信号的特点, 分析了相控阵及末制导雷达的干扰方式, 提出了一种针对一维距离像的假目标干扰方式。

关键词 相控阵; 末制导雷达; 干扰方式

随着现代导弹技术的发展, 精确制导技术在导弹发展过程中占据了关键部分。从近些年世界上爆发的几次局部战争来看, 精确制导武器都在其中发挥了巨大作用, 甚至可以说决定了战争结果的走向。正是由于精确制导武器能够发挥出高精度、高效能的作用, 因而成为世界各国近几十年来争相发展的一个重要领域。其中导弹的末制导技术是精确制导技术中发展的热点。末制导雷达具有作用距离远、精度高、命中率高、全天候探测等特点, 因此在精确制导武器中获得了广泛运用和快速发展^[1]。

经过多年对常规末制导雷达的研究, 各国都对其干扰及抗干扰性能进行了相当深入的研究, 使其干扰方法及抗干扰性能都提升到一个较高的水平。在此情况下, 研究新型末制导雷达, 从而达到更精确、更高效的打击目的是非常必要和迫切的, 相控阵雷达末制导头应运而生。

1 相控阵末制导国内外发展情况

20 世纪 80 年代, 美国在实施轻型大气层外导弹 (lightweight exoatmospheric projectile, LEAP) 计划的同时进行了平面相控阵导引头的相关配套研究^[2]。LEAP 相控阵导引头工作于 94 GHz 频率波段, 天线口径约为 127 mm, 共有 2208 个阵元组成, 分为 268 个积木块, 每个积木块由 6 个收发模块, 天线的增益为 40 dB, 波束宽度为 1.7°, LEAP 相控阵导引头的噪声系数为 4 dB, 其阵元峰值功率为 100 mW; 合成峰值功率为 62 W (图 1)。

20 世纪 90 年代, 美国空军在实施“双射程导弹”的同时, 采用了莱特实验室研制的共形天线整理导引头 (conformal antenna seeker, CAS) 技术^[3]。这一技术对相控阵导引头设计中一个最前沿的技术——共形相控阵天线技术进行了一系列的研究, 并完成了有源相控阵

收稿日期: 2018-10-29; 修回日期: 2018-12-31

作者简介: 盛骥松, 研究员, 研究方向为电子对抗总体技术, 电子信箱: 154089881@qq.com; 尤逸 (共同第一作者), 硕士研究生, 研究方向为信号与信息处理, 电子信箱: yy564023555@163.com

引用格式: 盛骥松, 尤逸. 相控阵末制导雷达及其干扰技术研究进展[J]. 科技导报, 2019, 37(4): 47-54; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.04.009

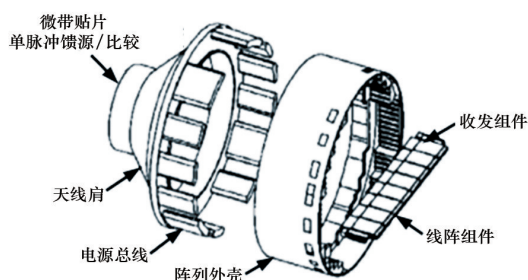


图1 LEAP导引头天线阵列

Fig. 1 Seeker antenna array of LEAP

共形天线的设计和研制工作。此次研制的有源相控阵雷达最大的特点就是采用了共形天线(即天线形状与弹体形状相同),使天线波束范围大大增加,美国对外宣称这款有源相控阵雷达波束指向可以覆盖到 140° ,2002年达到 150° ,2012年具备全方位探测能力。这款导引头采用了双模导引探测,雷达作用距离在25~60 km。与此同时,美国先进反辐射导弹(AARGM)也计划加装由共形天线有源相控阵体制的毫米波雷达导引头^[4]。

俄罗斯明确将主动相控阵末制导头技术的研究作为国家武器发展计划中的一项重要技术内容,以此来保证武器系统先进性^[5];并且俄罗斯各大武器装备研究所如玛瑙研究所、阿尔泰设计局等都在研制各种相控阵导引头^[6]。2013年,俄罗斯伊斯托克公司在莫斯科国际航空展览会上展示出了研制的X波段有源相控阵天线(图2)。该天线总功率大于1000 W,采用砷化镓器件,每个单元输出功率为10~15 W,质量约为9 kg^[7]。

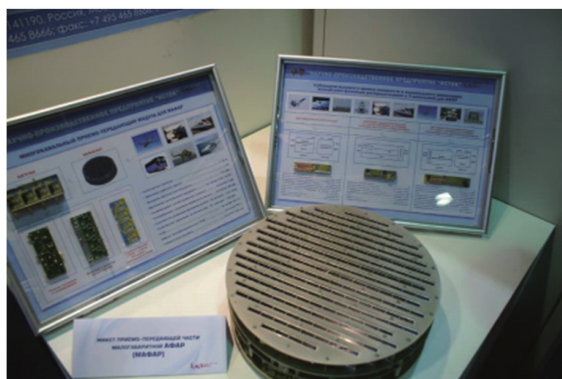


图2 X波段有源相控阵天线

Fig. 2 X-band active phased array antenna

2003年,英国奎耐特公司成功地进行了世界上首次相控阵雷达导引头天线的闭环试验^[8]。研制的X波

段相控阵导引头原理样机如图3所示,在口径80 mm下布置了19个天线单元。近年来,奎耐特公司还进一步开展了Ka波段弹体共形相控阵天线研制和成像能力验证试验。

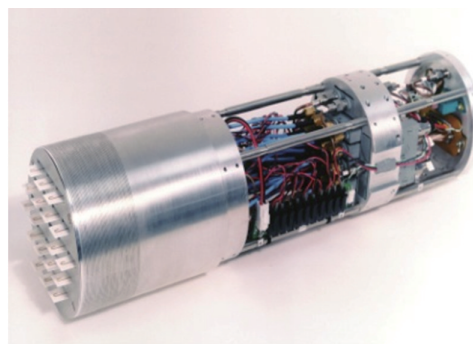


图3 英国研制的X波段相控阵导引头样机

Fig. 3 A prototype of X-band phased array seeker developed in the UK

中国在相控阵末制导雷达方面的研究起步较晚,但发展迅速、势头强劲^[9]。中国自21世纪初对相控阵导引头进行了一系列的研究,从概念到样机再到应用等经历了多个发展研究阶段。21世纪初,中国相关研究人员就“相控阵导引头”概念进行了一系列的探索研究;“十一五”期间完成了无源相控阵导引头样机的研制以及外场试验验证;2010年后,开展了对Ka波段有源相控阵导引头、Ku波段大功率有源相控制导引头及Ku波段的机扫与相扫结合的雷达导引头研制工作。

2 相控阵雷达信号的特点

相控阵雷达在组成上与机械雷达类似,均由发射系统、接收系统等基本系统组成。两个系统共用同一个天线阵进行雷达信号的发射与接收(发射与接收由收发转换开关控制),发射系统包括波束控制系统、信号功率放大系统等;接收系统包括信号接收与检测系统、信号处理机等。两个系统均由终端总控制计算机管理控制,图4为一个简单的相控阵系统组成。在雷达信号方面,相控阵雷达与机械雷达相比有以下3大特点。

2.1 波束快速扫描能力

相控阵雷达相对于常规体制雷达而言,天线是最大的区别之处。相较于常规雷达的机械扫描惯性对雷达波束指向的影响,通过电子控制实现天线波束指向

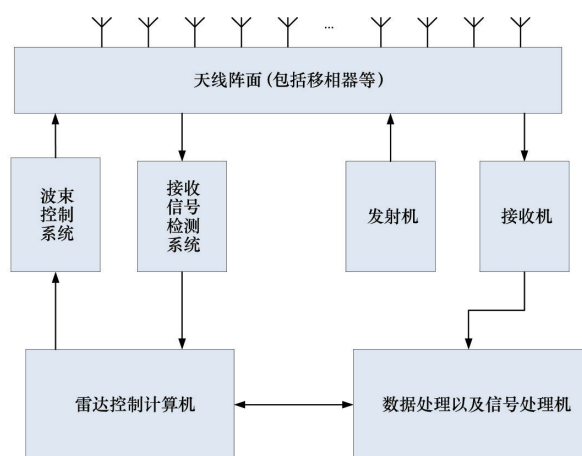


图4 相控阵系统组成

Fig. 4 Composition of a phased array system

的变化更为快速、精确^[10]。导弹末端制导的过程非常短暂,对时间要求更高,利用相控阵末制导雷达无疑是对导弹性能的巨大提升^[11]。

2.2 波束形状捷变能力

波束形状一般指波束宽度、副瓣电平、零点位置及零值深度等。波束形状的快速变化能力关乎雷达抗干扰性能和杂波抑制性能^[12],此外对如何较为合理地安排搜索、跟踪方式也有很大的影响。

以均匀面阵为例,平面阵天线方向图函数可表示为

$$F(\theta, \varphi) = \sum_{i=0}^N \exp[ji(dr_1 \cos \theta \sin \varphi - \alpha)] \cdot \sum_{k=0}^M \exp[jk(dr_2 \sin \theta - \beta)] \quad (1)$$

式中, θ 、 φ 分别为目标方向的俯仰值和方位值; M 、 N 分别是平面阵列的行和列阵元数; $dr_1 = \frac{2\pi}{\lambda} d_1$ 、 $dr_2 = \frac{2\pi}{\lambda} d_2$, d_1 、 d_2 分别是平面阵列行、列阵元之间的距离; i 、 k 是任意阵元坐标; α 、 β 分别为阵元行列相位差的简化表示。由式(1)可知,通过改变发射信号的幅度、相位可以改变雷达的天线方向图函数,也即改变波束形状^[13],而相控阵雷达的电子控制方式可以快速修改上述参数进而快速改变波束形状^[1]。

2.3 空间功率合成

天线每一单元通道或各天线子阵列都有独立的功率放大器对发射信号进行功率放大。移相器通过改变各通道或子阵信号的相位,实现将发射信号都汇聚于同一个方向,从而实现整体的功率放大,既减少了每个

功率放大器的性能要求,也能达到更加良好的放大性能,对于探测距离以及小目标有了显著提升。

3 干扰技术研究及发展趋势

雷达的干扰技术分类方法繁多,分类标准不同则有不同的分类方式。常用分类方法,根据干扰效果可分为压制干扰和欺骗干扰^[14]。

压制干扰是通过大功率噪声对对方的雷达设备进行压制,使其无法进行正常工作,以达到避免我方被对方雷达侦测到的目的^[14]。欺骗干扰一般通过各种方式产生与我方设备雷达回波信息相似的电磁信号,发送给对方雷达,使对方雷达误以为该信号即为我方真实目标产生的雷达回波信号进行错误判断,以达到欺骗的目的。

3.1 干扰技术研究现状

由于相控阵末制导雷达是目前各国研究的重点之一,国内外几乎没有公开发表的相关文献。因此,根据目前研究的相控阵雷达的干扰技术以及末制导雷达干扰相关文献进行分析^[15]。

3.1.1 压制干扰

在压制干扰方面,由于单一的压制干扰并不能彻底阻止导弹对目标的打击,且干扰效率没有欺骗干扰高,故单一对压制干扰进行研究的资料不多。文献[16]分析了噪声干扰对末制导雷达干扰的可行性。文献[17]研究了分布式压制干扰对相控阵雷达的干扰效果。文献[18]验证了压制干扰在制导精度方面对末制导雷达有很大影响,并对其进行仿真验证。如图5所示,噪声干扰对距离跟踪与角度跟踪均产生一定程度的影响,但随着飞行时间延长而减小,且干扰机功率越大,精度影响越大;在初始时刻,干扰机功率 P 为5000 W时,距离误差达到1200 m,角度误差达到1.6°;较大的误差对制导过程的飞行变化影响较大,又因为制导系统控制具有一定延时,所以大大增加了导弹的脱靶率。

3.1.2 欺骗干扰

欺骗干扰研究方面的相关文献较多,这也从另一方面上体现了国家的重视程度以及欺骗干扰的能力与效果较好^[19]。文献[20]阐述了针对相控阵雷达旁瓣的方位欺骗及多假目标干扰的可行性。文献[21]充分分析了距离波门拖引干扰方法以及干扰对相控阵雷达的效

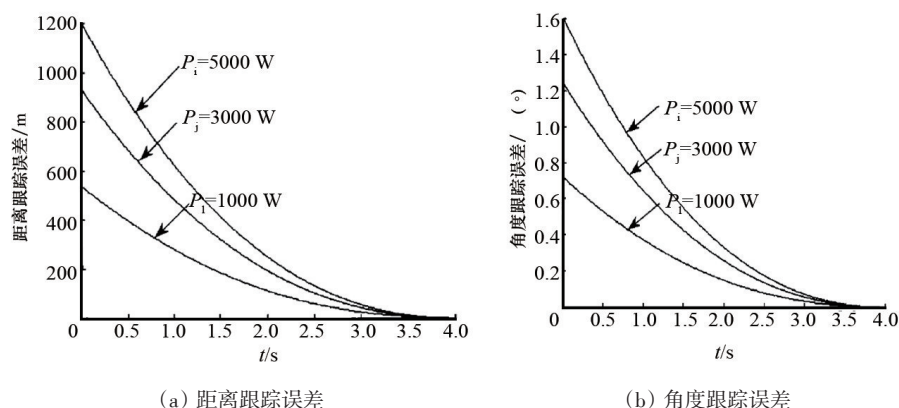
图5 噪声干扰对距离跟踪与角度跟踪的影响^[18]

Fig. 5 The influence of noise interference on range tracking and angle tracking

果,尽管考虑的条件较少,在一定程度上并不能完全体现真实效果,但仍具有一定参考价值。文献[22]针对相控阵雷达自适应调零技术进行分析研究,并针对其自适应调零的特征,即在确定干扰方向时能够进行自适

应调零的特征,对主瓣干扰进行干扰,并进行试验仿真,最终结果如图6所示,自适应波束形成在主瓣干扰的情况下产生了较深的零陷,使天线方向图产生畸变从而抑制了相控阵雷达^[23]。

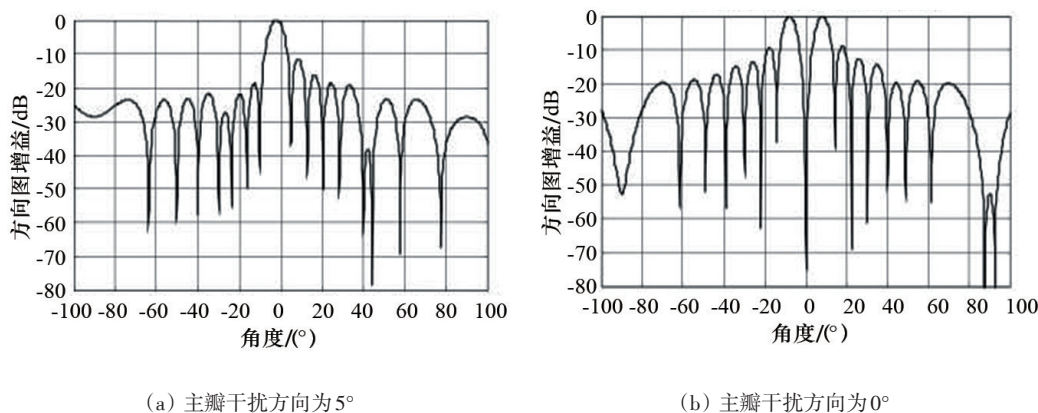
图6 主瓣干扰环境下的方向图^[22]

Fig. 6 Antenna pattern at main lobe interference

通常末制导雷达采用单脉冲雷达,针对单脉冲雷达的角度跟踪进行相应的角度欺骗。以一般雷达回波信号为例:

$$S_r(t) = KS_i(t - \tau) e^{j2\pi f_d t} e^{j2\pi f_c t} \quad (2)$$

式中, $S_i(t)$ 为雷达发射信号; K 为信号增益; $\tau = \frac{2R}{c}$ 为信号时延; f_d 为多普勒频移; f_c 为载频。欺骗干扰是发射与目标回波信号相同或相似的信号进行相应的欺骗干扰,若进行距离欺骗,则改变干扰信号的时延参数 τ 使之与目标回波信号不同,其他信号参量相同或相似;若进行距离欺骗,则改变干扰信号的多普勒频移参量 f_d ,

其他参量相同或相似;在进行角度欺骗时,需要使对方雷达接收到错误的方位角、俯仰角信息^[24]。因此,应使用与目标回波信号相同或相似的干扰信号进行干扰,并将干扰信号置于不同的方位形成多点源干扰。利用数字射频存储技术(digital radio frequency memory, DRFM)能够高速度、高精度地复制转发目标雷达的回波信号的特性,通过对目标雷达信号进行采样以及相应的信号处理并存储,通过一定方式(如拖曳式、悬挂式或舰船周围放置干扰机等)针对目标雷达角度跟踪进行欺骗干扰。

3.1.3 复合干扰

随着相关技术进一步的研究发展,单一的干扰方式已经很难获得有效的干扰效果,因而复合干扰成为了主流。文献[25]在研究中将距离门拖引干扰以及舷外有源诱饵干扰进行组合,这两种干扰样式均为经典的干扰方式,在干扰效果上具有一定的可行性,组合形成的复合干扰具有一定的干扰效果。此外,文献[26]提

出将针对相控阵雷达旁瓣相消技术的方位饱和干扰及可以获得脉冲压缩增益的卷积干扰进行融合,并做了相关仿真验证。由图7可看出,混合干扰相对于饱和分布式干扰更能够压制雷达回波信号;图8表明在同一检测概率下,混合干扰所需的干信比更低,也说明了两者的混合干扰效果更好。

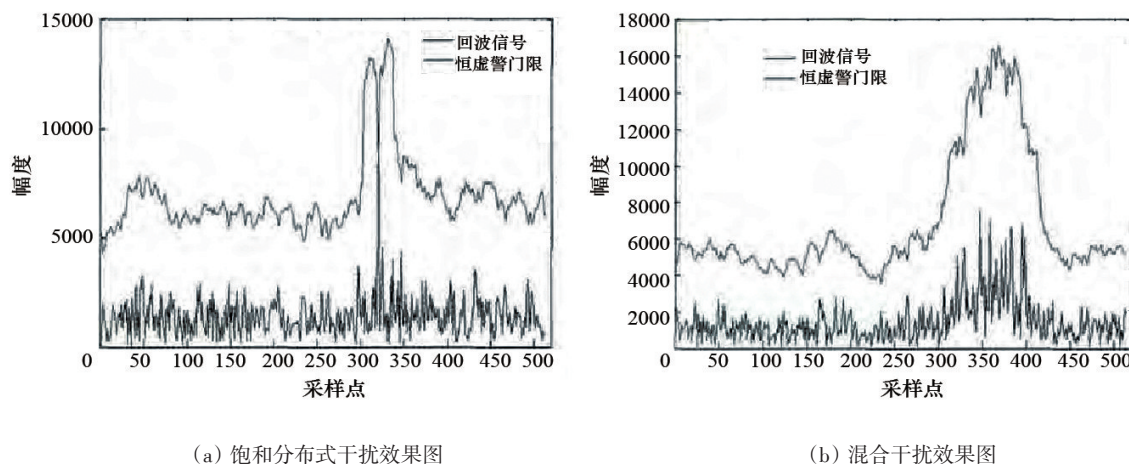


图7 两种干扰效果对比^[26]

Fig. 7 Comparison of two interference effects

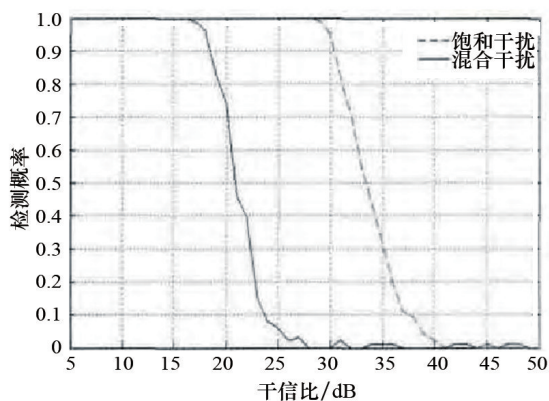


图8 两种干扰下检测概率与干信比关系对比^[26]

Fig. 8 Comparison of detection probability and jamming-signal-ratio under two kinds of interferences

3.2 干扰技术发展趋势

就上述干扰技术研究情况而言,对相控阵末制导雷达干扰技术的发展具有以下趋势^[27]。

1) 欺骗干扰将成为主流干扰。压制干扰的原理是使用噪声信号淹没真实回波信号,降低雷达信噪比,使雷达无法识别真实目标。欺骗干扰的原理是采用与真

实目标信息类似但其中的关键信息(角度信息、方位信息等)不同的假目标信息发送给对方雷达,使雷达产生错误方位的假目标或多个目标,导致其无法判断真实目标方位。因此,相较于压制干扰,欺骗干扰方法对于干扰末制导雷达方面干扰效率更高、效果更好,更适合干扰末制导雷达。

2) 相参干扰技术大力发展。随着DRFM的发展,通过DRFM接收雷达信号并进行存储、复制、处理形成特定的干扰信号,再将其转发,对对方雷达造成相关欺骗性干扰^[11]。DRFM产生的信号与雷达信号具有相参性,对相参雷达的干扰也有良好的效果^[28]。

3) 由单一干扰方法向复合干扰发展。随着雷达信号处理技术发展以及新型体制雷达的研究,单一的干扰方法对雷达的干扰效果已经不够明显。因此,由两个及以上的干扰方法组成的复合干扰技术有着更高的可行性^[29]。

4) 高分辨力雷达的干扰技术发展。许多现代雷达除对目标进行检测及跟踪外还要求有一维、二维成像能力,从而能够进一步分辨真实目标信号与假目标干

扰信号^[30]。

对此,提出一种针对一维距离成像技术的假目标干扰。对于成像雷达来说,要求其具有较高的分辨力。雷达的距离分辨力与信号带宽成正比,信号带宽越大,分辨力越高;信号带宽越小,分辨力越低。传统雷达的信号带宽较小,距离分辨力较低。因此,传统雷达会将一部分具有一定大小的目标均当作一个点目标^[31]。传统的干扰方法中直接转发或延迟转发接收到的雷达信号,通常形成的干扰信号仅仅是一个点目标,而并非像真实目标具有距离像特性,所以很容易被高分辨力雷达识别出来进而被剔除。为此,可以将多次逐渐延迟的干扰进行叠加,从而进行假目标干扰。干扰机接收到雷达信号后进行转发,并根据参数在一定延时后多次发生形成多假目标信号。这些多假目标信号不仅具有与雷达信号的相关性,而且当有多个延迟干扰信号时,雷达接收机接收后能够形成与真实目标回波信号形状相似的一维距离像,并非如直接转发、延时转发一样仅是一个点目标,从而避免被直接剔除。图9为基于DRFM的干扰信号形成过程。获取接收信号后,根据所需拟合的假目标参数设定延时时间等参数,形成一个假目标信号,该信号具有不同的延时和幅值等参数,因此假目标就会有类似于真实目标的距离像特征从而达到干扰目的。但若形成该假目标,需要其特征参数与真实目标回波的特征参数一致,这将是今后研究的一个难点。

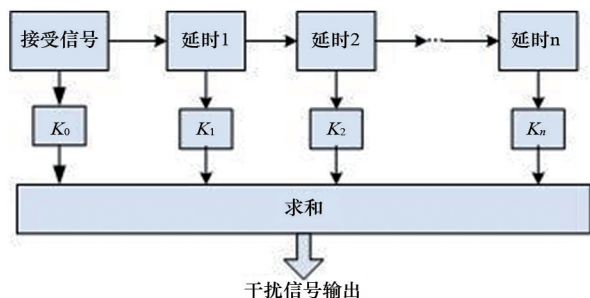


图9 干扰信号产生过程

Fig. 9 Process of interference signal generation

4 结论

干扰与抗干扰技术的研究与发展如同矛与盾、阴与阳的关系,两者相互对抗、相互发展。当前,相控阵体系的末制导雷达技术仍然处于研究与发展阶段,而相对的干扰技术也要随着新的相控阵体系末制导雷达

的研究而进行有效的针对性研究^[32]。通过研究各种新型相控阵体制雷达的特点挖掘其优缺点,并针对性地采用相应的干扰技术或者研究出新的干扰样式。

一个新的干扰技术发展,或者利用几种可以相互组合弥补各自缺点的干扰方式进行复合干扰,可以提高对敌方雷达的干扰效果。干扰技术的研究水平将是我方在电子战中占据一个主动位置的关键性因素^[33]。

参考文献 (References)

- [1] Fu X, Jiang C, Wang Z, et al. Anti-vessel end-guidance radar ECCM against deception jamming of range gate pull off[C]// 2009 IET International Radar Conference. London: IET, 2009, doi: 10.1049/cp.2009.0121.
- [2] 高峰. 相控阵导引头的基本特点和关键技术[J]. 制导与引信, 2005, 26(4): 1-5.
Gao Feng. Basic characteristics and key technologies of phased array seeker[J]. Guidance and Fuze, 2005, 26(4): 1-5.
- [3] 樊会涛, 闫俊. 相控阵制导技术发展现状及展望[J]. 航空学报, 2015, 36(9): 2807-2814.
Fan Huitao, Yan Jun. Development status and prospect of phased array guidance technology[J]. Acta Aeronautica Sinica, 2015, 36(9): 2807-2814.
- [4] 郑巧珍, 黄飞, 王佳, 等. 多通道相控阵雷达导引头技术概述[J]. 航空兵器, 2016(6): 40-43.
Zheng Qiaozhen, Huang Fei, Wang Jia, et al. Technical overview of multi-channel phased array radar seeker[J]. Aviation Weapon, 2016(6): 40-43.
- [5] 李秋生. 相控阵雷达导引头关键技术初探[J]. 控制与制导, 2007(6): 55-57.
Li Qiusheng. Primary exploration on key technologies of phased array radar seeker[J]. Control and Guidance, 2007(6): 55-57.
- [6] Trastoy A, Ares F, Moreno E. Phase-only control of antenna sum and shaped patterns through null perturbation[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2001, 43(6): 45-54.
- [7] 唐怀民, 魏飞鸣, 宋柯. 相控阵雷达导引头技术发展现状分析[J]. 制导与引信, 2014, 35(3): 6-31.
Tang Huaimin, Wei Feiming, Song Ke. Analysis on the development status of phased array radar seeker technology[J]. Guidance and Fuze, 2014, 35(3): 6-31.
- [8] 赵鸿燕. 相控阵雷达导引头技术发展现状[J]. 控制与制导, 2011(8): 78-82.
Zhao Hongyan. Development status of phased array radar seeker technology[J]. Control and Guidance, 2011(8): 78-82.
- [9] 汤晓云, 樊小景, 李朝伟. 相控阵雷达导引头综述[J]. 航空兵

- 器, 2013(3): 25-30.
- Tang Xiaoyun, Fan Xiaojing, Li Chaowei. Overview of phased array radar seeker[J]. Aviation Weapons, 2013(3): 25-30.
- [10] 来庆福. 反舰导弹雷达导引头抗舷外干扰技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2011.
- Lai Qingfu. Research on anti-outboard jamming technology of anti-ship missile radar seeker[D]. Changsha: University of National Defense Science and Technology, 2011.
- [11] Fu X, Yan H, Jiang C, et al. Chaff jamming recognition for anti-vessel end-guidance radars[C]//International Congress on Image & Signal Processing. Piscataway NJ: IEEE, 2009, doi: 10.1109/CISP.2009.5304639.
- [12] 黄丰生. 反舰导弹雷达导引头抗干扰技术研究[J]. 电子世界, 2016(6): 104-105.
- Huang Fengsheng. Research on anti-jamming technology of anti-ship missile radar seeker[J]. Electronic world, 2016(6): 104-105.
- [13] 林志远, 戴国宪. 未来电子战技术[J]. 雷达与对抗, 2003(2): 45-48.
- Lin Zhiyuan, Dai Guoxian. Future electronic warfare technology[J]. Radar and Countermeasures, 2003(2): 45-48.
- [14] 陈殿宇. 相控阵雷达主瓣压制干扰分析[J]. 宇航计测技术, 2012, 32(5): 8-12.
- Chen Dianyu. Main lobe suppression and jamming analysis of phased array radar[J]. Aerospace Measurement Technology, 2012, 32(5): 8-12.
- [15] 江舸. 针对末制导雷达干扰的干扰样式研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2007.
- Jiang Ge. Study on jamming pattern of terminal guidance radar jamming[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2007.
- [16] 饶志高, 金嘉旺, 侯向辉, 等. 噪声干扰对抗单脉冲末制导雷达技术研究[J]. 指挥控制与仿真, 2010, 32(4): 97-100.
- Rao Zhigao, Jin Jiawang, Hou Xianghui, et al. Research on noise jamming against monopulse terminal guidance radar technology[J]. Command and Control & Simulation, 2010, 32(4): 97-100.
- [17] 王轲. 对相控阵雷达的压制性干扰研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2017.
- Wang Ke. Research on the suppression interference of phased array radar[D]. Xi'an: Xidian University, 2017.
- [18] 张建伟, 黄树彩, 韩朝超, 等. 压制性噪声干扰对反导弹末制导精度的影响[J]. 现代防御技术, 2010, 38(3): 35-38.
- Zhang Jianwei, Huang Shucui, Han Chaochao, et al. Effect of suppressive noise interference on terminal guidance accuracy of anti-missile missiles[J]. Modern Defense Technology, 2010, 38(3): 35-38.
- [19] Yuan C, Weihua F, Lin L, et al. A quantitative method to assess monopulse radar seeker angle measurement performance in the presence of noise jamming[C]//IEEE CIE International Conference on Radar. Piscataway NJ: IEEE, 2012, doi: 10.1109/CIE-Radar.2011.6159934.
- [20] 梁百川. 对相控阵雷达的旁瓣欺骗干扰[J]. 中国航天, 1998(3): 3-7.
- Liang Baichuan. Side lobe spoofing against phased array radar[J]. China Aerospace, 1998(3): 3-7.
- [21] 支双双. 相控阵雷达欺骗干扰研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.
- Zhi Shuangshuang. Research on phased array radar spoofing[D]. Xi'an: Xidian university, 2012.
- [22] 薛冰心, 张友益. 对自适应调零技术的干扰研究[J]. 舰船电子对抗, 2012, 35(3): 10-13.
- Xue Bingxin, Zhang Youyi. Research on interference of adaptive zeroing technology[J]. Ship Electronic Countermeasures, 2012, 35(3): 10-13.
- [23] 张广磊. 相控阵自适应波束形成及干扰抑制方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- Zhang Guanglei. Study on adaptive beamforming and interference suppression of phased array[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2011.
- [24] 张树森, 王腾飞. 末制导雷达抗舷外有源诱饵干扰研究[J]. 海军航空工程学院学报, 2016, 31(3): 359-364.
- Zhang Shusen, Wang Tengfei. Research on terminal guidance radar resisting outboard active decoy jamming[J]. Journal of Naval Aeronautical Engineering College, 2016, 31(3): 359-364.
- [25] 王杰, 盛骥松. 对反舰导弹的有源干扰技术研究[J]. 舰船电子对抗, 2011, 34(2): 36-40.
- Wang Jie, Sheng Jisong. Research on active jamming technology of anti-ship missile[J]. Ship Electronic Countermeasures, 2011, 34(2): 36-40.
- [26] 赵国林, 韩俊. 相控阵雷达混合干扰策略研究[J]. 雷达科学与技术, 2014, 12(4): 363-367.
- Zhao Guolin, Han Jun. research on the mixed jamming strategy of phased array radar[J]. Radar Science and Technology, 2014, 12(4): 363-367.
- [27] 杨陈. 末制导雷达及其干扰技术的研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2008.
- Yang Chen. Research on terminal guidance radar and its jamming technology[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2008.
- [28] 张军周, 李传庆. 对新型反舰导弹末制导相参雷达的有源干扰[J]. 舰船电子对抗, 2017, 40(6): 24-27.
- Zhang Junzhou, Li Chuanqing. Active jamming against the new anti-ship missile terminal guidance coherent radar[J]. Ship Electronic Countermeasures, 2017, 40(6): 24-27.

- [29] 罗朝义, 程嗣怡, 陈游. 有源照射箔条对相控阵雷达复合干扰效应分析[J]. 火力与指挥控制, 2016, 41(7): 82-84, 88.
Luo Chaoyi, Cheng Siyi, Chen You. Analysis of combined jamming effect of active irradiation chaff on phased array radar[J]. Fire and Command and Control, 2016, 41(7): 82-84, 88.
- [30] 田向飞, 盛骥松. 对ISAR一维距离像的卷积干扰研究[J]. 现代电子技术, 2008, 31(11): 15-17.
Tian Xiangfei, Sheng Jisong. Research on convolution interference of ISAR one-dimensional range image[J]. Modern Electronic Technology, 2008, 31(11): 15-17.
- [31] Bendayan M, Garcia A. Signal modeling of chaff in naval environment simulation[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2015, 51(4): 3161-3166.
- [32] 陈舒文. 宽带相控阵雷达自适应干扰抑制算法研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2016.
Chen Shuwen. Research on adaptive jamming suppression algorithm of wideband phased array radar[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2016.
- [33] 晨风. 俄罗斯Radar MMS公司开展导引头研究计划[J]. 系统工程与电子技术, 2006(10): 1522-1522.
Chen Feng. Radar MMS company's research plan on seeker [J]. Systems Engineering and Electronics Technology, 2006 (10): 1522-1522.

Development of phased array terminal guidance and its interference technology

SHENG Jisong¹, YOU Yi²

1. The 723 Institute of China Shipbuilding Industry Corporation, Yangzhou 225001, China

2. Institute of Electronic Information Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China

Abstract The phased array system terminal guidance radar seeker technology is an important research topic in the world. This paper, firstly reviews the several nations' development situations of the phased array seeker, with a comparison of the characteristics of signals between the phased array radar system and the conventional mechanical radar and an analysis of the interference modes of the phased array and terminal guidance radar. A pseudo-target jamming method is proposed for the high resolution range profile.

Keywords phased array; terminal guidance radar; jamming mode ●



(责任编辑 刘志远)