

双点源干扰诱偏被动雷达导引头性能分析

张 兵¹, 白渭雄¹, 付孝龙¹, 邓晓岷²

(1.空军工程大学防空反导学院,陕西西安,710051;2.95784 部队,湖南沅江,614100)

摘要 以经典的双点源干扰模型为基础,简要说明了在双点源干扰下导引头的静态跟踪误差。在此基础上,研究了动态下的攻防对抗,建立了数学模型并仿真,得出了攻击误差。仿真分析了双干扰源功率变化时导弹的攻击轨迹和误差,以及功率不相等时干扰源间距和天线波束宽度对诱骗效果的影响。仿真结果表明:只要参数合适,非相干双点源干扰可以很好的诱骗导引头,达到保护目标的目的。

关键词 双点源干扰;被动单脉冲导引头;诱偏

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2015.01.011

中图分类号 TN974 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2015)01-0046-04

Performance Analysis of the Dual-Source Jamming Decoying against Radar Seeker

ZHANG Bing¹, BAI Wei-xiong¹, FU Xiao-long¹, DENG Xiao-min²

(1. Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China;
2. Unit 95784, Yuanjiang, Hunan, 614100, China)

Abstract: Based on the classical dual-source jamming model, the static tracking error angle of radar seeker under dual-source jamming is briefly explained. On this basis, dynamic attack-defense confrontation is researched, mathematical model and simulation are established, and the attack error is acquired. Missile's attack trajectory and error are analyzed by simulation, and decoying effect that is influenced by the length between two jamming sources and width of antenna beam when the dual-source power is unequal. Through simulating, as long as the parameters are appropriate, non-coherent dual-source jamming can well decoy radar seeker and protect the target.

Key words: dual-source jamming; passive monopulse radar seeker; decoy

单脉冲雷达角度跟踪系统具有良好的跟踪单点源的能力,但雷达主波束内同时出现 2 个干扰源时,会影响到雷达对单个干扰源的跟踪。因此,双点源或多点源干扰已成为对单脉冲雷达和单脉冲导引头进行干扰的有效方法。目前,关于双点源干扰的研究较多,但分析方法较为单一,大多是基于静态模式下分析雷达的跟踪误差。本文在经典双点源干扰分析的基础上,通过建立导弹的动态攻击模型,仿真分

析双点源干扰的诱骗效果,对双点源干扰的分析具有借鉴意义^[1-4]。

1 非相干双点源干扰对被动单脉冲导引头的诱偏原理

被动单脉冲导引头接收目标辐射信号,利用单

收稿日期: 2013-12-12

作者简介: 张 兵(1990—),男,陕西西安人,硕士生,主要从事信息对抗理论与技术研究.E-mail: zhangbing_0629@163.com

引用格式: 张兵,白渭雄,付孝龙,等. 双点源干扰诱偏被动雷达导引头性能分析[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2015,16(1):46-49. ZHANG Bing, BAI Weixiong, FU Xiaolong, et al. Performance Analysis of the Dual-Source Jamming Decoying Against Radar Seeker [J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2015, 16(1): 46-49.

脉冲角度跟踪技术对目标跟踪寻的。常用的单脉冲角度跟踪系统主要有振幅和差、相位和差 2 种形式,被动单脉冲导引头常采用振幅和差单脉冲雷达。由于俯仰角和方位角的测角方法是相同的,为了分析方便,只讨论单个平面内目标角度的测量。

典型的振幅和差单脉冲雷达由 2 馈源同时接收到的目标回波信号经和差比较器后输出和、差 2 路信号。和、差信号经同一本振混频后变为中频信号,经各自的中频放大器放大后,通过自动增益控制 (AGC) 在差支路实现和差信号的比,在鉴相器处进行相位检波,取出直流误差信号即角误差信号。单脉冲处理中,和通道输出用于距离测量,差通道输出用于角度误差测量。用和通道信号对差通道信号进行归一化处理,可以避免因为目标距离和雷达截面积等因素而导致的误差不稳定,使误差仅依赖于角度。理论上,仅需要一个脉冲就能测定目标的位置,因而称为“单脉冲”。

设单个平面内双点源与振幅和-差单脉冲雷达的波束位置关系见图 1。

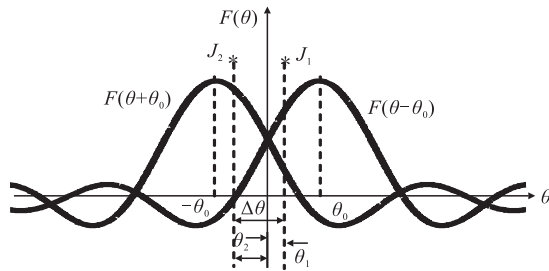


图 1 双点源与雷达波束的位置关系
Fig.1 The position relationship between double point source and radar beam

图 1 中干扰源 J_1 和 J_2 偏离天线等信号强度方向的角度分别为 θ_1 、 θ_2 , J_1 和 J_2 的夹角为 $\Delta\theta$,当天线受到非相干干扰源 J_1 、 J_2 干扰时,根据单脉冲和差波束测角的基本原理可以得出,非相干干扰条件下被动单脉冲导引头的跟踪角 θ 为^[5-7]:

$$\theta = \frac{\Delta\theta}{2} \frac{a^2 - 1}{a^2 + 1} \quad (1)$$

式中: a 为双点源的振幅比,见图 2。式(1)表明在非相干条件下,被动单脉冲导引头的跟踪误差指向双干扰源的能量重心。

从图 2 可以看出,当干扰源振幅比等于 1 时,导引头将跟踪双干扰源的连线的中点。同时也表明,非相干干扰对导引头的定向跟踪误差角有限,只能位于双干扰源连线之间,不能使天线瞄准轴偏离双干扰源连线之外。

在利用非相干干扰干扰导引头时,通常将被保护目标与诱饵结合起来采用闪烁干扰,使雷达不能

准确跟踪目标,以达到更好的效果。

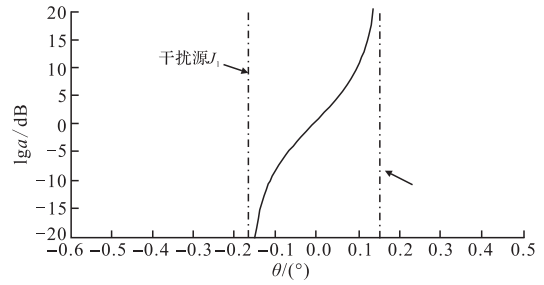


图 2 功率比对跟踪曲线的影响
Fig.2 The influence of power ratio to tracking curve

2 动态环境下非相干双点源对被动单脉冲导引头的诱偏分析

考虑雷达导引头攻防对抗场景,随着导弹接近目标,双干扰源对导弹的张角 $\Delta\theta$ 不断增大。当双干扰源功率相等时,根据前面的分析可知,雷达跟踪双干扰源的能量重心,即双干扰源连线的中点。这种情况下,导弹从双干扰源中心穿过,不会摧毁任何目标;当双干扰源功率不相等时,双干扰源对导弹的张角一定会在某一时刻大于 $\theta_{0.5}$,此时开始导引头能够分辨双干扰源,并且能稳定跟踪其一。见图 3~4。

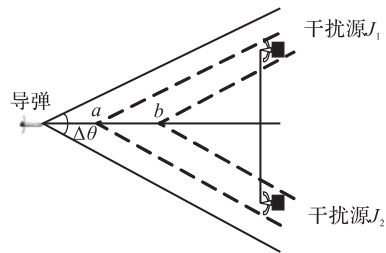


图 3 双干扰源功率相等时导弹攻击轨迹
Fig.3 Missile attack trajectory of equal dual-source power

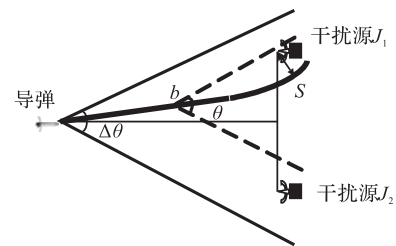


图 4 双干扰源功率不等时导弹攻击轨迹
Fig.4 Missile trajectory of unequal dual-source power

2.1 非相干干扰数学分析

见图 3 所示的场景,干扰源 J_1 、 J_2 距离为 L ,且功率相等。由图 2 知,导弹将瞄准双干扰源连线中心位置,此时双干扰源相对于导弹的张角为 $\Delta\theta$,双干扰源均处于雷达瞬时波束内,雷达无法分辨。随着导弹的逼近,当导弹到达位置 b 时,此时双干扰源均“逃出”雷达波束,导引头丢失目标。理论上,只

要双干扰源之间的距离满足一定条件,导弹则会穿过双干扰源连线中心,而不会对双干扰源产生任何影响。

进一步分析双干扰源功率不相等时(假设 J_1 功率大于 J_2),导弹攻击轨迹见图 5。随着导弹的逼近,当导弹到达位置 b 时,导引头雷达开始能够分辨双干扰源,此时双干扰源相对于导弹的张角为 θ ,称为分辨角, $\theta \approx 0.9\theta_{0.5}$ [8-9]。

当 $\Delta\theta > \theta$ 时,导引头能稳定跟踪一个干扰源,这时导弹以最大过载向所跟踪的干扰源运动。为方便分析,假设在此期间导弹和双干扰源始终在同一平面相对运动,则运动轨迹方程为 [10]:

$$y = \frac{1}{2}n_{\max}g \frac{x^2}{v^2} \quad (2)$$

式中: x 、 y 分别为导弹的横、纵坐标; n_{\max} 为导弹的最大过载; g 为重力加速度; v 为导弹的速度。

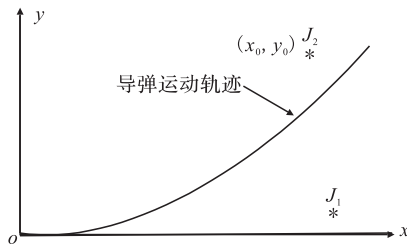


图 5 导弹运动轨迹
Fig.5 Missile trajectory

双干扰源引起的导弹的攻击误差为:

$$S = \min(\sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2}) \quad (3)$$

当张角较小时,导弹沿双干扰源能量质心飞行;当张角等于分辨角时,导弹以最大过载偏向某一干扰源。由于能量重心偏向 J_1 ,导弹命中 J_1 的可能性比等功率时大。

2.2 仿真分析

在动态攻防环境下,通过对双点源干扰功率相等和不相等 2 种情况进行仿真,分析非相干双点源干扰对被动单脉冲雷达导引头诱偏性能的影响。

仿真参数设置如下:假设干扰源位置固定,天线波束宽度 $\theta_{0.5} = 10^\circ$, $L = 150$ m,导弹距离双干扰源距离 $R = 3$ km,导弹速度 $v = 1$ m/s,导弹有效杀伤半径为 $r = 60$ m。则计算得分辨角 $\theta \approx 0.9\theta_{0.5} = 9^\circ$ 。

仿真 1: 双干扰源功率相等和不相等 ($U_1/U_2 = 3$) 时的导弹攻击轨迹。

从图 6 可以看出,当双干扰源功率相等时,导弹瞄准双干扰源连线中点向双干扰源运动,最终穿过双干扰源中心。由于双干扰源距离 L 与导弹有效杀伤半径 r 满足条件 $L > 2r$,即使导弹在经过双干扰源中心时引爆,也不会对双干扰源造成伤害。

从图 7 看出,当 $U_1/U_2 = 3$ 时,导弹先瞄准双干

扰源能量重心,而后向 J_1 运动。当 $n_{\max} = 1.15$ 时 $S = 60$ m,此时导弹刚好对 J_1 造成威胁;当 $n_{\max} > 1.15$ 时,将对 J_1 造成伤害; $n_{\max} = 8$ 时 $S = 29.4$ m $< r$,导弹将对 J_1 造成伤害;当 $n_{\max} = 14.63$ 时,导弹击中 J_1 。

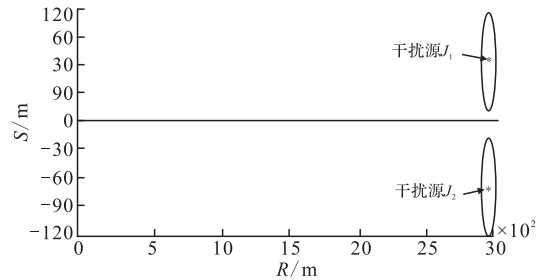


图 6 双干扰源功率相等时导弹攻击轨迹

Fig.6 Missile attack trajectory of equal dual-source power

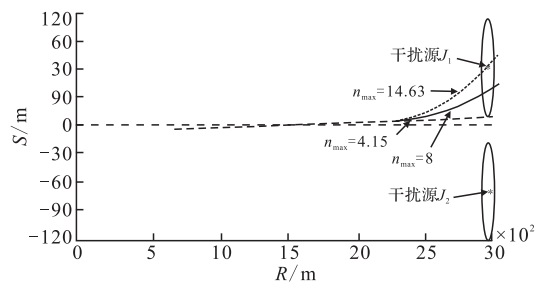


图 7 双干扰源功率不相等时导弹攻击轨迹

Fig.7 Missile trajectory of unequal dual-source power

对比图 6、图 7 可以看出,无论双干扰源功率是否相等,都可以对导引头造成有效诱骗。从诱饵保护目标的角度出发,当干扰信号功率比目标回波功率大时,导弹偏离目标的角度更大,可以更好的保护目标;从拖曳式诱饵干扰的角度出发,当 2 者功率相等时,诱骗角度相对较小,但诱饵被击毁的概率更小,这样就可以将诱饵回收,提高诱饵的利用率。实际中,为了更好地保护目标,使导弹瞄准的“质心”更加靠近诱饵,一般取诱饵的干扰功率与目标的回波功率之比为 2~10。

仿真 2: 双干扰源功率不相等时,双干扰源距离和天线波束宽度对诱偏效果的影响。

从图 8 可以看出,当天线波束宽度一定时,双干扰源之间距离越小,双干扰源越不容易被导引头分辨,且导弹击中双干扰源之一的最大过载越大。

从图 9 可以看出,当 2 点源距离一定时 ($L = 150$ m),在相同的最大过载条件下,天线波束宽度越窄,导引头越容易分辨双干扰源,干扰源 J_1 受到的威胁更大。

从攻防双方的角度出发,图 8、图 9 分别给出了不同条件下 2 点源的诱骗效果。从攻击方的角度出发,天线波束越窄,导引头可以越早地分辨双干扰源,导弹击中其中之一最大过载越小;从防御方的

角度出发,在考虑导弹杀伤半径等因素时,2 点源之间距离越小,导引头越不容易分辨,干扰源被击毁的概率越小。

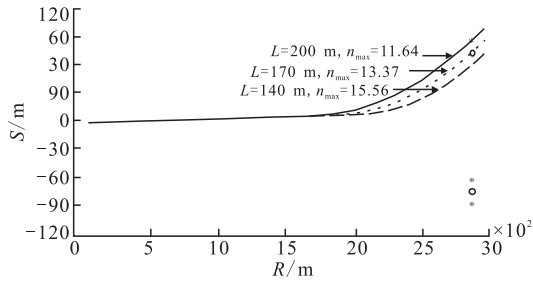


图 8 双干扰源距离对诱偏效果的影响

Fig.8 Decoying effect influenced by the length between two jamming sources

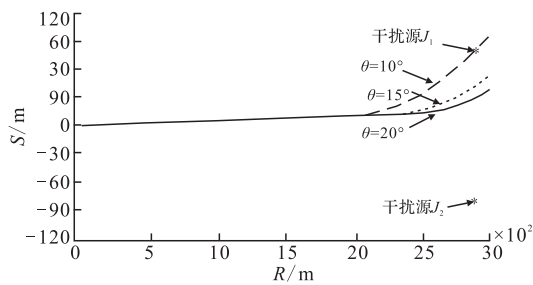


图 9 天线波束对诱偏效果的影响

Fig.9 Decoying effect influenced by the width of antenna beam

从实际应用来看,以拖曳式诱饵为例,作为一种典型的双点源干扰,受到各种因素的限制,比如导弹的杀伤半径、雷达的距离分辨率及雷达波束宽度等,2 点源之间的距离即拖曳线长度必须满足一定的条件,不能做的很短。另一方面,实际中天线波束也不可能做到很窄。因此,实际应用中要综合考虑各方面因素来判断双点源干扰的诱偏效果。

3 结语

通过对被动单脉冲导引头角度跟踪原理的分析,得到了双点源干扰在非相干条件下对导引头干扰的跟踪误差角,同时也分析了动态干扰跟踪误差。由此得出非相干双点源干扰能够有效诱偏导引头,特别是在双干扰源功率不相等时,诱偏效果更好。

参考文献(References):

[1] 李朝伟,周希元,陈卫东,等.单脉冲雷达主波束内多目标的检测方法[J].电子学报,2006(6):1026-1029.
LI Chaowei, ZHOU Xiyuan, CHEN Weidong, et al. A Method of Detecting Multiple Targets in A Monopulse Radar's Mainbeam[J]. Acta Electronica Sinica, 2006(6):1026-1029.(in Chinese)

[2] SONG Zhiyong, XIAO Huaitie, ZHU Yilong, et al.

A Novel Approach to Detect the Unresolved Towed Decoy in Terminal Guidance[J]. Chinese Journal of Electronics, 2012, 21(2): 367-373.

[3] Kerjins W J. Analysis of Towed Decoys [J]. IEEE Transactions on AES, 1993, 129(4): 1222-1227.

[4] 张永顺,童宁宁,赵国庆.雷达电子战原理[M].北京:国防工业出版社,2010.
ZHANG Yongshun, TONG Ningning, ZHAO Guoqing. Principle of Radar Electronic Warfare[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2010. (in Chinese)

[5] 张卓鸿,葛蕾,刘晓冬.两点源角度欺骗干扰性能仿真与分析[J].无线电通信技术,2013,39(1):87-90.
ZHANG Zhuohong, GE Lei, LIU Xiaodong. Performance Simulation and Analysis of Dual-Source Angle Deception Jamming [J]. Radio Communications Technology, 2013, 39(1): 87-90. (in Chinese)

[6] 白渭雄,唐宏,陶建峰.拖曳式诱饵对单脉冲雷达的干扰分析[J].电子信息对抗技术,2007,11(6):39-42.
BAI Weixiong, TANG Hong, TAO Jianfeng. Analysis of Towed Tecoy Jamming on Monopulse Radar [J]. Electronic Information Warfare Technology, 2007, 11(6): 39-42. (in Chinese)

[7] 罗金亮,赵静静,张建科.单脉冲跟踪雷达抗双点源干扰研究[J].火控雷达技术,2009,38(3):22-25.
LUO Jinliang, ZHAO Jingjing, ZHANG Jianke. Study on Monopulse Tracking Radar Against Counter Double Point Sources Jamming[J]. Fire Control Radar Technology, 2009, 38(3): 22-25. (in Chinese)

[8] Zhang X, Willett P K, BarShalom Y. Detection and Localization of Multiple Unresolved Extended Targets Viamonopulse Radar Signal Processing[J]. IEEE Transactions on aerospace and Electronic Systems, 2009, 45 (2): 455-472.

[9] 肖钦定,刘晓东,李海林.机载拖曳式诱饵角度欺骗干扰分析[J].航天电子对抗,2011,27(4):13-16.
XIAO Qinding, LIU Xiaodong, LI Hailin. Angle Deception Jamming Analysis of Airborne Towed Decoy [J]. Aerospace Electronic Warfare, 2011, 27(4): 13-16. (in Chinese)

[10] 李相平,李亚昆,李世忠,等.非相干两点源对被动反舰导弹的干扰研究[J].制导与引信,2007,28(3):31-34.
LI Xiangping, LI Yakun, LI Shizhong, et al. The Jamming Research of Noncoherent Two-Point Resource to Passive Antiship Missile [J]. Guidance & Fuze, 2007, 28(3): 31-34. (in Chinese)

(编辑:田新华)