

文章编号: 1002-2082(2008)01-0086-04

激光制导武器转移式光纤干扰系统的参数分析

吴建军^{1,2}, 王金玉¹, 彭佳琦¹, 王运波¹

(1. 军械工程学院, 河北 石家庄 050003; 2. 中国人民解放军 75230 部队, 广东 韶关 512100)

摘要: 讨论了激光制导无源角度欺骗干扰系统——转移光纤干扰系统的工作原理, 重点分析了系统干扰效果的功率比、延迟时间等参数。分析表明: 只要合理选取光纤接收的覆盖面积和假目标的反射系数, 假目标反射的激光功率可满足干扰要求; 几个微秒的延迟时间远小于导引头脉冲录取波门宽度, 导致进入波门的几率极高。证明了系统干扰的可行性, 探讨了目标若采取伪装措施和转移激光直接向空间发射等手段, 干扰效果可进一步提高。

关键词: 激光制导; 角度欺骗式干扰; 无源干扰

中图分类号: TN977-34

文献标志码: A

Parameter analysis for optical fiber deception system to displace laser guiding angle

WU Jian-jun^{1,2}, WANG Jin-yu¹, PENG Jia-qi¹, WANG Yun-bo¹

(1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;

2. 75230 Unit of PLA, Shaoguan 512100, China)

Abstract: The operation principle of the passive angle jamming system (optical fiber laser jamming system) by changing the laser guiding angle was presented, system jamming effectiveness parameters such as the power ratio and the delay time were discussed. The analysis shows that the laser power reflected from the decoy can meet the requirement if the coverage of the optical fiber receiving system and reflectance of the decoy are properly selected, and the delay time of several microseconds is far less than the gate width of the target required by seeker, which makes the incident probability of laser echo into the gate from the decoy quite high. The feasibility of the jamming system is proved. Other measures such as the camouflage or displacing laser into open space could make the jamming system more effective.

Key words: laser guidance; angle deception jamming; passive jamming

引言

激光半主动制导武器具有精度高、成本低、战术运用灵活等优点, 是目前装备量最大、应用范围最广的一类精确打击武器, 其干扰和抗干扰技术已成为国内外研究热点^[1]。当前对抗激光制导的干扰方法主要有无源干扰和有源干扰。随着激光制导武器系统抗干扰能力的加强和激光器件发展的限制, 有源干扰的难度不断加大^[2]。传统的无源干扰手段

烟幕干扰、光箔条干扰、气溶胶干扰等均属于消耗型方式。转移光纤干扰系统兼有无源干扰和有源干扰的特点, 因而是一种有效的干扰手段。

1 无源光纤激光干扰系统原理

光纤激光制导干扰系统原理如图1所示。当系统受到敌激光制导信号照射后, 由光纤收集照射激光, 经耦合后转射到附近的假目标上, 使得敌制导

武器视场内出现 2 个回波信号,在同时接收到真假 2 个信号后,导引头按照比例导引的规律向 2 个目标的质心寻的,于是偏离了正确的航向。

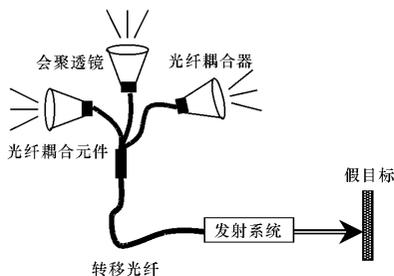


图1 激光制导光纤干扰系统原理图

Fig. 1 Principle diagram of fiber jamming system against laser guidance

在平台四周均匀分布许多会聚透镜,每个会聚透镜的焦平面与一根光纤相耦合,光纤的另一端使用光学耦合元件并与转移光纤相连。将所有光纤与一根转移光纤相连接,通过发射系统将收集的激光发射到附近的假目标上。

2 无源光纤激光干扰系统参数分析

2.1 瞬时干扰视场角

干扰系统要做到全向干扰,要求有一定的瞬时干扰视场角。瞬时干扰视场角 θ_p 与单个透镜的数值孔径、光纤耦合器的直径以及透镜与光纤耦合器

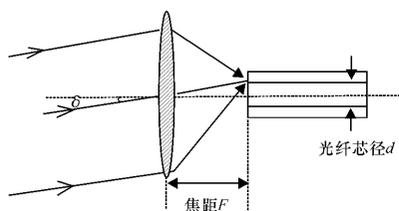


图2 瞬时干扰视场

Fig. 2 Instantaneous jamming FOV

之间的位置等有关,如图2所示。假设光纤入射面位于透镜焦平面处,可得

$$\theta_p = 2\delta = \frac{2d}{2F} = \frac{d}{F} \quad (1)$$

式中: d 为光纤芯径; F 为透镜焦距。由此可得干扰全向覆盖所需最少透镜单元数为

$$N = \frac{2\pi}{4\pi \sin^2(\theta_p/2)} = \frac{1}{2\sin^2(\theta_p/2)} = \frac{1}{1 - \cos \theta_p}$$

即:

$$N = \frac{1}{1 - \cos(d/F)} \quad (2)$$

2.2 干扰效果估算

2.2.1 功率估算

假设激光为基模高斯光束,则目标指示器的指示激光照射到目标表面时的光斑面积为

$$A_b = \pi \frac{(\theta R)^2 + D^2}{4} \quad (3)$$

式中 D 为指示器发射口径。

由测距方程可知导引头接收到目标反射回波的功率^[3]为

$$P_r = \frac{P_i K_r K_t e^{-\mu(R+H_1)} \rho \cos \theta_r \cos \theta_t}{\pi H_1^2} \times (1-k) A_r \left[\frac{A}{A_b} \right] \quad (4)$$

式中: P_i 为激光目标指示器发射的峰值功率; K_t 和 K_r 分别为指示器发射系统和导引头接收光学系统的透过率; R 为指示器与真目标间的距离; H_1 为导引头距真目标的距离; μ 为大气衰减系数; ρ 为目标反射系数; θ_r 为目标平面法线与导引头-目标连线的夹角; θ_t 为目标平面法线与指示器-目标连线的夹角; A_r 为导引头接收口径的面积; A 为有效目标面积; k 为光纤接收系统的有效覆盖面积比例。

当目标面积大于光斑面积时,则 $A = A_b$,上式转化为

$$P_r = \frac{P_i K_r K_t e^{-\mu(R+H_1)} \rho \cos \theta_r \cos \theta_t (1-k) A_r}{\pi H_1^2} \quad (5)$$

由于 θ_t 是一个随空间相对随机的量, θ_r 是一个随时间和空间都相对随机的量,设 θ_t 和 θ_r 在 $0 \sim \pi$ 内服从均匀分布,可得 P_r 的均值为

$$\bar{P}_r = \frac{P_i K_r K_t e^{-\mu(R+H_1)} \rho (1-k) A_r}{2\pi H_1^2} \quad (6)$$

由激光大气传输方程可知,光纤转移系统转移的激光功率为

$$P_s = P_i K_i K_t^2 e^{-\mu R} \cos \theta_i \eta \beta \cdot k \left[\frac{A}{A_b} \right] \quad (7)$$

式中: K_i 为光纤接收系统的透过率; η 为光纤耦合器的耦合效率; β 为光纤衰减系数。

当目标面积大于光斑面积时,则 $A = A_b$,通常在 $0 \sim \pi$ 内服从均匀分布,上式转化为

$$\bar{P}_s = \frac{P_i K_i K_t^2 e^{-\mu R} \eta \beta}{\sqrt{2}} \cdot k \quad (8)$$

于是,由测距方程并结合(6)式和(8)式可得,导引头接收到假目标反射回波的功率为

$$\bar{P}_r' = \frac{P_i K_i K_t^2 K_r e^{-\mu(R+L+H_2)} \rho' \eta \beta}{2 \sqrt{2} \pi H_2^2} \cdot k A_r \quad (9)$$

式中: K_l 为光纤转移系统接收发射透镜的透过率; ρ' 为假目标反射系数; L 为假目标距真目标的距离; H_2 为导引头距假目标的距离。

为了有效干扰,要求 $\overline{P_r'} \geq \overline{P_r}$ 。由 (6) 式和 (9) 式可得

$$\frac{\overline{P_r'}}{\overline{P_r}} = \frac{K_l^2 \cdot e^{-\mu(L+H_2-H_1)} \cdot \rho' \eta \beta \cdot k H_1^2}{\sqrt{2} \rho (1-k) H_2^2} \quad (10)$$

取: $K_l=0.99, \eta=0.4, \beta=0.9, \mu=0.2$, 并设 $T_\rho = \rho'/\rho$, 则有:

$$e^{-0.2(L+H_2-H_1)} \cdot \frac{H_1^2}{H_2^2} \cdot T_\rho \cdot \frac{k}{1-k} \geq 4$$

即:

$$k \geq \frac{4}{e^{-0.2(L+H_2-H_1)} \cdot T_\rho \cdot (H_1/H_2)^2 + 4} \quad (11)$$

通常情况下, H_1 和 H_2 远大于 L , 故两者相差不大, 取 $H_1=H_2$, 则上式变为

$$k \geq \frac{4}{T_\rho \cdot e^{-0.2L} + 4} \quad (12)$$

图3为(12)式在不同 L 值条件下的 $k-T_\rho$ 关系曲线, 其中横坐标为假目标与真目标反射系数之比 T_ρ , 纵坐标为光纤接收系统的有效覆盖面积比 k 。由图3可以看出, 适当选取光纤接收系统的覆盖比例和假目标的反射系数, 可使转移激光的强度完全达到干扰要求。

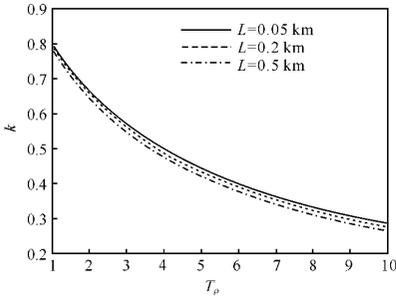


图3 k 与 T_ρ 关系曲线

Fig. 3 k versus T_ρ

2.2.2 时间估算

当前, 激光半主动制导武器系统, 大都将激光指示信号进行编码, 结合导引头的脉冲选通波门和信号处理技术来提高其抗干扰能力。由于目标指示器发射脉冲激光的频率抖动、导引头与目标距离变化时激光信号的延时差异、指示器与导引头的时基误差等因素的影响, 因此, 波门宽度不可能太小, 一般设为几十到数百微秒^[4]。为了实现有效干扰, 要求干扰信号比真目标反射的制导信号到达导引头

的延时要短, 以保证干扰信号能进入导引头的脉冲选通波门。真目标、假目标和导引头在空间构成一个三角形, 如图4所示。

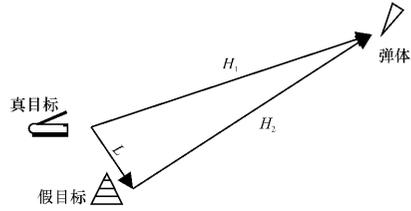


图4 真假目标和导引头位置关系图

Fig. 4 Ubiquity of true and decoy objects to the seeker

当导引头在空间运动时, 图4中 H_1 和 H_2 的大小和方位均会发生变化, 但边 L 保持不变。真假目标反射信号到达导引头的距离差为 $\Delta H = ((L + H_2) - H_1)$ 。由三角形三边关系可得 $\Delta H \leq 2L$, 故延迟时间为

$$\Delta t = \Delta H/c \leq 2L/c \quad (13)$$

式中 c 为光速。

取 $L=300$ m, 则 $\Delta t=2 \mu s$ 。该延迟时间足以满足假目标反射信号能进入导引头的波门。

3 其他问题

上面讨论的是目标没有采用伪装措施的情况。实际中, 往往对保护目标采用涂覆隐身材料等激光隐身技术, 以尽可能地减小目标的回波, 同时尽可能提高假目标的反射率, 从而增大假目标和真目标反射激光信号的比值, 使导引头探测到的目标回波淹没在背景噪声中, 而只能探测到干扰信号, 从而大大提高干扰成功的概率。

光纤收集系统还可以和激光告警系统相连, 当激光告警系统收到信号发出告警后, 再将收集的激光信号转发到假目标上。

如果直接将激光发射系统通过光纤连接到远处, 通过扩束系统直接向空间发射激光信号, 还可以进一步提高转移激光信号的利用率, 从而提高干扰效果。

4 结束语

通过以上分析可知, 转移光纤无源干扰系统对激光制导系统的干扰是可行的, 但实际应用时要考虑的因素还很多。由于激光制导系统也在积极采取多种反干扰技术措施(包括多波长、距离波门、快

门、滤光片、偏振接收、抗饱和接收技术等),这些无源干扰系统由于自身特性的限制必将受到反干扰措施的影响,比如由于转发的干扰脉冲滞后于真目标回波,所以很容易受到距离波门和首脉冲录取机制的限制。因此,采取多种干扰措施或者复合式干扰是必要的。

参考文献:

[1] 刘京郊. 光电对抗技术与系统[M]. 北京:中国科学技术出版社,2004.

LIU Jing-jiao. Technology and system of electro-optical warfare [M]. Beijing: China Technology Press,2004. (in Chinese)

[2] 侯振宁. 激光欺骗干扰技术研究[J]. 应用光学,2002,23(1):34-39.

HOU Zhen-ning. Research on laser deception jamming technology [J]. Journal of Applied Optics, 2002,23(1):34-39. (in Chinese)

[3] 周立伟. 目标探测与识别[M]. 北京:北京理工大学出版社,2002.

ZHOU Li-wei. Object detection and recognize [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology University Press,2002. (in Chinese)

[4] 黄峰,汪岳峰,王金玉,等. 高重复固体激光器在光电对抗中的应用研究[J]. 红外与激光工程,2003,32(5):465-467.

HUANG Feng, WANG Yue-feng, WANG Jin-yu, et al. Study on application of high-repetition-rate solid state lasers in photoelectric countermeasure [J]. Infrared and Laser Engineering, 2003,32(5):465-467. (in Chinese)

[5] 周治伟,孙晓泉,樊祥. 延迟光纤激光测距干扰系统参数分析[J]. 舰船电子对抗,2006,29(1):16-19.

ZHOU Zhi-wei, SUN Xiao-quan, FAN Xiang. Parametric analysis of delay optical fiber laser range finding jamming system [J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2006,29(1):16-19. (in Chinese)

[6] 戴永江. 激光雷达原理[M]. 北京:国防工业出版社,2002.

DAI Yong-jiang. Principle of ladar [M]. Beijing: National Defence Industry Press,2002. (in Chinese)