

四元正交探测器抗红外干扰弹干扰方法综述

郭新军, 金伟其, 王霖

(北京理工大学 光电工程系, 北京 100081)

摘要: 介绍了四元正交探测器以及红外干扰弹的工作原理, 对四元正交探测器导引系统抗红外干扰的 7 种方法 (即时间相关选择和视场收缩技术、惯性跟踪机制、实时记忆准则、幅值鉴别法、脉冲宽度鉴别法、脉冲幅值序列鉴别法和脉冲宽度幅值鉴别法) 等进行了讨论。最后给出了这 7 种抗红外干扰弹干扰方法的使用条件。

关键词: 四元正交探测器; 红外干扰弹; 抗红外干扰弹; 拖拽干扰弹; 脉冲幅值序列

中图分类号: TN973. 3

文献标识码: A

Antijamming Methods of Counter-Infrared-Interference-Missile by Using Cross-Shaped Detector Array

GUO Xin-jun, JIN Wei-qi, WANG Ji

(Dept. of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract The principles of cross-shaped detector array and the infrared decoy are introduced. Seven kinds of antijamming methods, such as time correlated choice and field-of-view shrinkage, inertial track, real-time memory criterion, amplitude discrimination, pulse-width discrimination, pulse-amplitude time sequence discrimination and pulse-width amplitude discrimination for Counter-Infrared-Interference-Missile (CIRIM) with the cross-shaped detector array are given. The condition of the methods to be used is presented at last.

Keywords cross-shaped detector array; infrared decoy; CIRIM; towed decoy; pulse-peak time sequence

引言

四元正交探测器导引技术是介于单元和成像导引之间的过渡类型, 它与红外成像导引技术相比具有成本低、制作工艺简单、技术成熟等优点, 与单元导引技术相比具有制导精度高、抗干扰能力强等优点。因此, 四元正交探测器导引技术在今天仍有较大的应用空间。

红外干扰弹是近年来作战飞机对付红外制导导弹最常用的干扰手段, 大部分歼击机、战斗轰炸机及武装直升机都装备有相当数量的人工红外干扰弹。本文对四元正交探测器抗红外干扰弹干扰的方法进行讨论。

1 四元正交探测器及探测目标方位

收稿日期: 2003- 05- 22; 修改稿收到日期: 2003- 08- 19

作者简介: 郭新军 (1974-), 男, 北京理工大学光电工程系博士研究生, 主要从事光电系统仿真方面的研究。

的原理

四元正交探测器是将探测器做成十字型, 互相垂直分布, 探测器准确地放在被测物的像面上, 十字中心与光轴重合, 如图 1 所示^[1]。光学系统接收

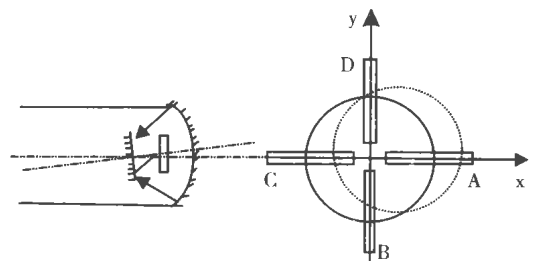


图 1 扫描式四象限探测器原理

Fig. 1 The principle of scanned four-quadrant detector

目标自身的辐射, 并把目标成像于探测器上。用球面反射镜作为物镜, 平面镜反射折叠光路, 平面镜

法线与球面镜光轴略有倾斜,平面镜由电机带动绕球面镜光轴旋转,使目标像点在探测器表面上的运动轨迹成为一个圆,探测器受到脉冲调制。当物镜光轴对准目标时,像点扫描圆的中心与十字线探测器中心重合。像点扫描一周,每个探测元输出一个脉冲,4个脉冲的时间间隔相等。若目标在 x 方向偏离光轴时,像点扫描中心也发生相应的偏离,此时4个探测器的输出脉冲间隔不相等,如图2所示。图2中B、D两个探测器输出脉冲的位移为 b ,可通过电路检测出 b 的大小,并能够测得像点的位移量 $X = r \cos b$ (式中 r 为像点扫描半径)。同理可以得到像点在 y 方向偏离光轴时的位移量 Y ,从而获得目标方位的变化信息,具体方法见文献[2]。

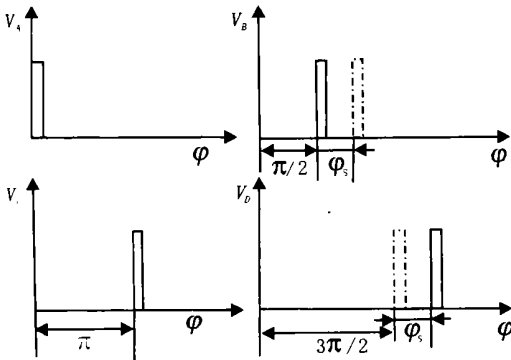


图2 十字探测波形
Fig. 2 Waveform of cross detection

2 红外干扰弹的工作原理

当干扰弹载机受到敌方红外导弹攻击时,它将根据红外报警器的报警信号,以一定的分离角度和初速度投放干扰弹。当干扰弹与载机同时处于红外导引头视场中时,最初导引头跟踪干扰弹与载机的能量中心,随着干扰弹与载机的逐渐分离,一般无抗干扰措施的四元正交探测器导引头开始跟踪能量高的干扰弹,干扰弹载机逃离导引头视场,从而使导弹脱靶。红外干扰弹燃烧特性及投放要求见文献[3和[4]。拖拽干扰弹和自备动力的伴飞干扰弹等新型红外干扰弹起到分散和冲淡目标的作用^[10]。根据红外干扰弹和四元正交探测器探测目标方位的工作原理,四元正交探测器抗红外干扰弹主要有以下几种方法

3 四元正交探测器抗红外干扰弹的

方法

由于干扰弹在辐射强度、直径、波长、运动轨迹和运动速度等方面有别于目标,所以目标在投放干扰弹以后,随着干扰弹辐射信号的叠加,其脉冲幅值在短时间内增加很快(同一路输出信号在相邻周期内脉冲有明显增加,采用电平触发方法),使导引头意识到干扰弹的出现,然后采用以下方法去除干扰弹信号,从而实现抗红外干扰弹干扰的目的。

3.1 时间相关与视场收缩技术

四元正交探测器抗红外干扰弹采用时间相关选择和视场收缩技术^[2]。由于目标像点扫过探测元的时间具有一定的规律,处理器只接受有规律的脉冲信号,当接收到脉冲后就关闭,相当于缩小了视场。本文以偏航通道为例说明,如图1所示。假设探测器D首先发现目标,将D作为主控,设D的输出脉冲下降时刻距其基准脉冲之间的时间为 Δt_1 ,因为陀螺的转速一定,因此可以计算出D输出完脉冲后光点到达探测器B的时间 $\Delta T_1 = (T/2 - \Delta t_1)$,在D脉冲结束后立即关闭D,延迟 $\Delta T'_1$ (考虑各种误差的影响, $\Delta T'_1 < \Delta T_1$) 时间后再打开B的接收器,这一段时间处理器不接收探测器信号,因此无干扰信号。设B脉冲下降时刻距其基准脉冲之间的时间为 Δt_2 ,则计算出B输出完脉冲后光点到达D的时间 $\Delta T_2 = (T/2 - \Delta t_2)$,在B脉冲结束后立即关闭D,延迟 $\Delta T'_2$ ($\Delta T'_2 < \Delta T_2$) 时间后再打开D的接收器,这一段时间处理器不接收干扰信号。根据光点扫描的顺序性,利用导引头对D和B接收和关闭的控制就可以缩小视场,实现抗干扰。

3.2 惯性跟踪机制

当导引头处于稳定跟踪状态时,目标投放一个红外干扰弹后,起初两个像点未分开,如图3(a)所示。此时 Δt 包含了目标与诱饵的共同信息。图3(b)中实线是即将分开的临界情况。以脉冲信号中心线为依据进行判断,此时中心线恰好是目标的边缘,也没有丢失目标。图3(c)中实线为目标与干扰弹的脉冲已经分开时的情况。由于干扰弹的投掷速度垂直于目标和导弹的连线,所以在红外干扰弹投掷初期,干扰弹在导弹跟踪视场坐标系中的运动速度投影要比目标快,因此其信号脉冲比目标信号脉冲更偏离基准信号,处理器选择距基准近的目标脉

冲,从而去掉干扰。利用导弹自身的制导惯性,在短时间内可以忽略干扰弹的存在继续跟踪目标^[2]。

如果目标同时向两侧投掷干扰弹,就不能采用此方法。因为另外一侧的干扰弹脉冲信号比目标脉冲信号距离基准信号更近,如图 3(c)中虚线所示。假如处理器选择距基准近的脉冲就会丢失目标。如果目标向自身同一侧投掷多个干扰弹,仍然可以采用此方法。

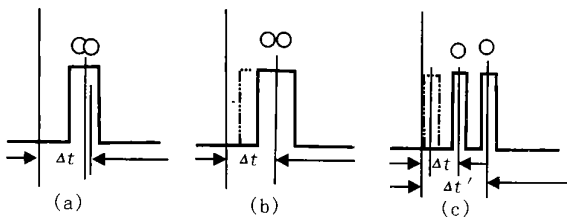


图 3 诱饵与目标分离的情况

Fig. 3 The case of lures separating from a target

若干扰弹自备动力,具有超音速稳定飞行能力,并能与干扰弹载机保持最佳的距离和最合适的飞行轨道^[6],使干扰弹在导弹跟踪视场坐标系中的运动速度的投影与目标近似相等,从而使导引头跟踪干扰弹,那么该方法即失去作用。

3.3 实时记忆准则

实时记忆准则^[10]是将目标的运动方向、速度、位置等物理量进行实时记忆处理,然后根据一定的方法(如维纳滤波)预测目标在下一个时刻的位置,以此把目标和干扰弹分开。

对于四元正交探测器,设目标像点在第 1 个扫描周期的位置是 (a_1, b_1) ,在第 2 个扫描周期的位置是 (a_2, b_2) ,假定目标像点在焦平面上为匀速运动,则可以推测出目标像点在第 3 个扫描周期的位置为 $(2a_2 - a_1, 2b_2 - b_1)$ 。由此可以得到目标在第 3 个扫描周期的信号脉冲位置,然后和四元正交探测器的实际输出脉冲位置比较,选择与推测位置距离最近的脉冲,这样可以将干扰弹信号脉冲去掉。此方法在目标投掷多个干扰弹时,目标信号脉冲淹没在干扰弹信号的情况下仍然可以采用。

3.4 幅值鉴别法

在目标投放 1 个红外干扰弹后,起燃 0.5 s 后干扰弹达到稳定燃烧状态,目标与诱饵的脉冲已经分开,如图 4 所示。由于干扰弹在稳定燃烧时与目标的辐射强度比远远大于 1,所以干扰弹脉冲信号幅值明显大于目标脉冲信号幅值,处理器选择幅值

较小的目标脉冲就可以排除干扰。此方法对存在多个干扰弹的情况照样有效。

3.5 脉冲宽度鉴别法

有一些干扰弹在燃烧时其直径比目标直径大 2 倍以上,当目标与四元正交探测器距离比较近时不能作为点目标,此时红外干扰弹在四元正交探测器上输出的信号脉冲宽度比目标信号脉冲宽度要宽,如图 4 所示。处理器选择脉冲宽度较小的目标脉冲就可以去掉干扰。但此方法仅对少量干扰弹有效。

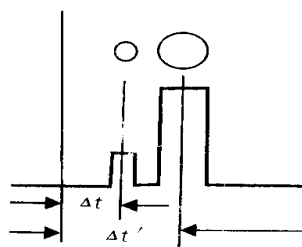


图 4 诱饵与目标分离后的情况

Fig. 4 The case after lures separated from a target

3.6 脉冲幅值序列鉴别法

新研制的“灵巧干扰弹”,如拖拽干扰弹和自备动力伴飞干扰弹等,它们和目标具有相似的运动特征和红外辐射特征,抗能量型红外干扰弹的算法就会失效,必须采用脉冲幅值序列抗红外干扰弹算法才能够将新型干扰弹的干扰信号去掉。

在红外成像制导中根据目标和干扰弹红外波段成像特征的差异采用灰度时间序列分析^[11]来区分它们。这是基于干扰弹与真实目标内部结构和材料的不同,导致它们在红外辐射特性上存在差异而采取的措施。目标有发动机等内部热源而干扰弹没有,故目标有一个比较大的热容比。在同样的外部环境下,真实目标的温度变化比干扰弹慢,表现在四元正交探测器的输出脉冲上,干扰弹的脉冲幅值序列比目标的脉冲幅值序列起伏大。此外,干扰弹在运动中大约有 1 r/s 的旋转和翻滚,目标则相对平稳,因此它们的输出信号脉冲宽度和幅值也会变化。四元正交探测器采用脉冲幅值序列分析可以区分目标和新型红外干扰弹。

在识别目标和干扰弹时,四元正交探测器获得的数据包含多个目标,真目标与干扰弹混杂在一起。必须首先检测出同一个像点的脉冲幅值序列,然后通过分析脉冲幅值序列的细微差别来区分目

标和干扰弹 具体分析算法包括时域差分法、FFT变换、小波变换等方法。

3.7 脉冲宽度幅值鉴别法

和 3.6节所述相同,由于干扰弹燃烧过程比较复杂,它在四元正交探测器上产生的输出脉冲宽度序列比目标脉冲宽度序列起伏大。因此,取出目标和干扰弹的脉冲宽度序列,采用与脉冲幅值序列同样的分析方法可以鉴别出干扰弹和目标。但是,此方法只有在目标与导引头距离比较近时效果才比较好。

4 结论

当干扰弹在跟踪视场内存在时间比较短时,采用惯性跟踪机制;当干扰弹在跟踪视场内存在时间比较长时,采用脉冲幅值(宽度)序列鉴别法;在导弹和目标距离比较远,目标可以作为点目标的情况下采用脉冲幅值序列鉴别法;在导弹和目标距离比较近,目标必须作为面目标的情况下,采用脉冲宽度序列鉴别法。

幅值鉴别法和脉冲宽度鉴别法是在干扰弹燃烧达到稳定后普遍采用的方法。时间相关选择及视场收缩技术与跟踪惯性机制两种方法结合使用可以取得较好的抗干扰效果。时间相关选择及视场收缩技术与实时记忆准则相结合可在目标机动性能比较大的情况下采用,而对于在多干扰弹的情况下就必须与其它方法相结合。

由以上讨论可以看出,每一种抗干扰方法都有

其局限性,必须几种方法综合运用才能获得满意的效果。另外这些抗干扰方法都是针对四元正交探测器,把目标当成点源来处理的,如果采用红外成像制导则有更好的抗干扰方法。

参考文献:

- [1] 叶嘉雄,常大定,陈汝钧.光电系统与信号处理[M].北京:科学出版社,1997. 44- 46.
- [2] 于松书,李伟仁.四元正交探测器抗红外干扰方法的研究[J].红外技术,2002, 24(2): 53- 56.
- [3] 汪朝群.红外诱饵对红外制导导弹的干扰特性及仿真[J].激光与红外工程, 2001, 30(4): 241- 269.
- [4] 赵庆松,吴永刚.红外干扰特征建模及其仿真装置[J].系统仿真学报, 1998, 10(5): 48- 53.
- [5] 付伟.红外干扰弹的工作原理[J].光电与控制, 2001, (1): 36- 42.
- [6] 施德恒,许启富,黄宜军.红外诱饵弹系统的现状与发展[J].红外技术, 1997, 19(1): 9- 14.
- [7] 徐南荣,卞南华.红外辐射与制导[M].北京:国防工业出版社, 294- 295.
- [8] 张庆华.红外目标、背景及干扰的仿真技术[J].航空兵器, 1991, (3): 4- 10.
- [9] 李金铨.红外末制导头抗干扰技术研究[J].红外与激光技术, 1994, (5): 25- 30.
- [10] 周立伟,刘玉岩.目标探测与识别[M].北京:北京理工大学出版社, 2002. 348- 349.
- [11] 赵峰伟,沈振堂,李吉成.红外诱饵辨识的仿真研究(一)灰度时间序列分析[J].红外与激光工程, 2002, 31(4): 286- 289.

(上接第 30页)

极面上,经上万倍的增强后再通过目镜呈现给观察者。由于目前超二代器件和高性能三代器件的空间分辨能力已经大大提高,达到约 60 lp/mm,这对于炮火、照明弹的抗干扰能力有明显改善。因此,可以预计,配有微光夜视仪的高炮火控系统光学瞄准装置将会在夜间获得更远的作用距离和更清晰的目标图像。

非制冷红外技术与微光技术有着同样的效果。非制冷式红外系统虽然不如制冷式红外热像仪那样具有探测距离远、分辨率高、成像清晰等优点,但它的体积小、重量轻、价格低、可靠性高、使用和维

护简便等优点却很受部队青睐。在对空观察中,如果非制冷式红外系统可以看到一定范围的目标,也可以作为改善老装备的备选技术方案。

在发展防空兵夜视装备计划中,开发周视红外扫描技术可增强预警能力,扩大预警探测的频谱范围;采用高性能制冷式红外热像仪配装先进的武器系统;利用技术成熟、价格便宜的夜视技术改造老式高炮系统这 3项设想是依照我军装备发展战略来思考的。至于这些设想是否符合实际情况,还需通过相关的试验来验证。同时,还应探索制造地面照明体满足夜视系统探测要求的途径。