

〈制导与对抗〉

## 多元红外双色导引头目标识别技术研究

李雪, 陈勇, 贾明永

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471000)

**摘要:** 结合多元红外双色探测系统, 对双色目标识别技术进行研究: 采用辐射源位置信息确定中短波同源脉冲, 并计算双色比, 根据目标特性和干扰特性设置双色比门限, 利用同源脉冲确定结果和双色比门限进行目标识别。实验结果表明, 采用双色目标识别技术提高了目标识别的准确性, 提高了导引头的抗干扰能力。

**关键词:** 双色比; 双色数据融合; 目标识别; 辐射源位置

中图分类号: TN976

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2013)06-0373-04

## The Target Recognition Technology for Multi-Element Dual-Band IR Seeker

LI Xue, CHEN Yong, JIA Ming-yong

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

**Abstract:** Improving the anti-jamming ability of infrared seeker, the Multi Sensor IR dual-band target recognition technology is researched: Firstly, the homologous pulses of infrared waveband are obtained by using the position information of the infrared radiation source, and then the radiation ratio of dual bands has been computed, and setting the threshold of the radiation of dual bands based on the characteristic of the target and the infrared flare. Finally, the target is recognized by the result of the homologous pulses and threshold of the radiation ratio of dual bands. The results of experiments show that the target recognition technology based on the dual-band data fusion improves the accuracy of the target recognition and the anti-jamming ability of the IR seeker.

**Key words:** radiation ratio of dual bands, dual-band data fusion, target recognition, radiation position

### 0 引言

随着新型干扰技术的发展, 新型探测技术如双色、多光谱探测系统正成为技术发展的前沿与牵引。美俄等均有采用双色期间的红外导弹服役, 如美国的“尾刺”(Stinger post) 导弹采用紫外/红外双波段导引头, 法国的“西北风”导弹采用多元红外(InAs)/紫外复合探测导引头等; 我国正在研制多元红外中波/短波双波段导引头, 因此如何利用双色信息进行目标识别成为亟待解决的问题。对红外多元双色非成像探测系统, 目标、背景和诱饵干扰均呈现点目标特征, 在红外辐射特性上只有光谱分布和辐射强度特征量可以利用<sup>[1]</sup>。在导弹攻击过程中, 目标投放的诱饵干扰为达到足够的辐射强度, 其温度必须远高于目标的温度, 使得

目标和诱饵干扰在不同波段上的辐射强度呈现明显差异, 因此可以根据目标和诱饵干扰在两个波段上的积分能量比值即双色比可将目标和诱饵干扰(以下简称干扰)区分开来, 达到目标识别的目的。文献[1]、[2]均提及了双色比的计算方法, 但在计算双色比时仅利用了辐射源的辐射强度信息, 存在双色比计算不准确的现象, 以此双色比进行目标识别, 可能导致目标识别错误。本文对基于双色数据融合的目标识别技术进行研究, 除利用辐射源的辐射强度信息外, 将辐射源的位置信息引入到系统中, 提高了导引头目标识别的准确性, 进而提高导引头的抗干扰能力。

### 1 多元双色导引头辐射源位置信息计算

以文献[1]中设计的米字型八元探测系统为例, 说

收稿日期: 2013-02-07; 修订日期: 2013-04-19.

作者简介: 李雪(1982-), 女, 黑龙江桦南人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为红外导引头抗背景及抗干扰技术研究。

基金项目: 航空科学基金项目, 编号: 20120181005。

明多元双色导引头辐射源位置信息的计算方法。米字型八元探测器示意图如图1所示。其中探测臂0、1、2、3臂为中波探测器,用于目标探测,短波0、1、2、3为短波探测器,用于辅助目标识别。四路中波探测臂正交,短波四路探测臂正交,四路中波探测臂与短波四路短波探测臂的夹角为 $\alpha$ ,中波0路及短波0路探测器外侧安装基准线圈。当陀螺旋转时,安装在陀螺转子上的磁铁在基准线圈附近通过,产生基准信号 $JZ_{中}$ 和 $JZ_{短}$ 。辐射源像点扫过8个探测臂,形成八路脉冲信号。根据八路辐射源信号与各基准脉冲间的相互关系可以确定辐射源的位置。

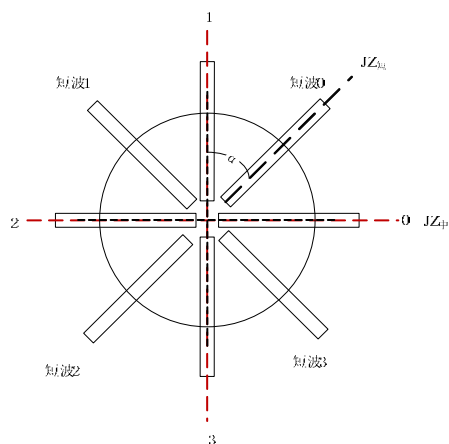


图1 米字型8元探测器示意图

Fig.1 米-Type Eight-Sensor detector

当辐射源位于探测器中心时,如图1所示。此时辐射源圆心位置为(0,0),辐射源像点扫过中波0臂和短波0臂的时刻与陀螺转系上的磁铁扫过基准线圈的时刻相同,像点以等间隔时间扫过8个探测臂。对于中波四路信号,以中波0路为正方向,逆时针方向旋转,其相对于 $JZ_{中}$ 的相位分别为 $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$ 。同理对于短波四路信号,其相对于 $JZ_{短}$ 的相位分别为 $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$ 。当辐射源偏离视场中心时,如图2所示。

此时辐射源像点扫过中波0臂的时刻与陀螺转子上的磁铁扫过基准线圈的时刻不同,像点通过各个探测元之间的间隔不再相等,此时,中波四路信号相对于中波基准 $JZ_{中}$ 的相位 $\theta$ 与辐射源圆心位置(x,y)具有如下式的关系:

$$\sin \theta_1 = \sin \theta_3 = \frac{y}{R}, \quad \sin \theta_2 = \sin \theta_4 = \frac{x}{R} \quad (1)$$

式中:  $R$ 为扫描圆半径。

短波四路信号相对于短波基准 $JZ_{短}$ 的相位 $\beta$ 与辐射源圆心位置(x,y)具有如式(2)的关系,式中 $R$ 为扫描圆半径。短波四路信号相对于短波基准 $JZ_{短}$ 的相位见

图3所示。

从式(1)及式(2)可以得知,八路信号相对于各自基准的相位与辐射源圆心位置(x,y)密切相关,根据8路探测信号的相位即可得到辐射源圆心位置。

$$\begin{aligned} \sin \beta_1 = \sin \beta_3 &= \frac{-x \sin \alpha + y \cos \alpha}{R} \\ \sin \beta_2 = \sin \beta_4 &= \frac{y \cos \alpha - x \sin \alpha}{R} \end{aligned} \quad (2)$$

对于叠层探测器,式(1)及式(2)同样适用。此时中短波探测器夹角 $\alpha$ 为 $0^\circ$ 。

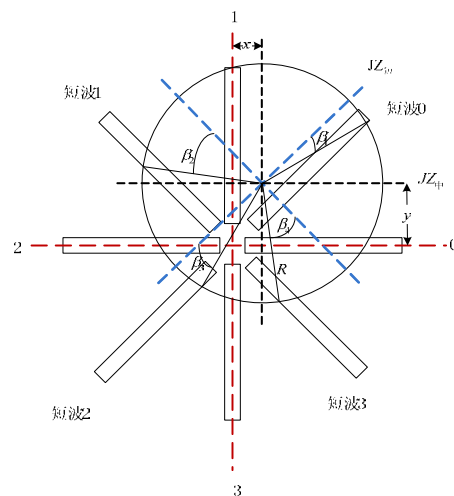


图2 辐射源偏离视场中心示意图

Fig.2 Infrared radiation source deviated from the field

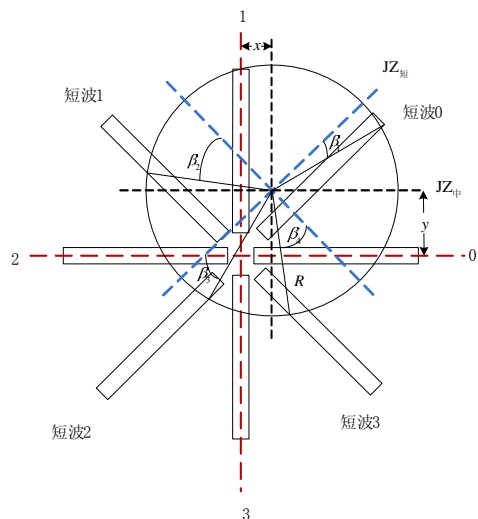


图3 短波四路信号相对于短波基准的相位

Fig.3 Short-band phase relative to the short-band reference

## 2 双色目标识别技术

### 2.1 双色数据融合

当视场中有多个辐射源时,它们在各探测臂上形成多个脉冲,多辐射源示意图如图4所示。视场中有两个辐射源  $O_1$ ,  $O_2$ , 通过脉冲信号检测,可以得到

$(p_1, p_2, p_3, p_4)$ 、 $(p_1, p_2, q_3, q_4)$ 、 $(q_1, q_2, q_3, q_4)$ 、 $(q_1, q_2, p_3, p_4)$ 等 16 个中短波脉冲组合。文献[1]、[2]采用脉冲的幅度特征确定同源脉冲,即各探测臂选择一个幅值最大的脉冲作为同源脉冲。若  $p_1$ 、 $p_2$ 、 $q_3$ 、 $q_4$  脉冲为各臂幅值最大的脉冲,则将中短波脉冲组合 $(p_1, p_2, q_3, q_4)$ 作为同源脉冲,以此中短波脉冲则计算出的双色比不能真实反映辐射源  $O_1$ 、 $O_2$  的双色比,利用该双色比进行目标识别时,则会造成目标识别不准确。

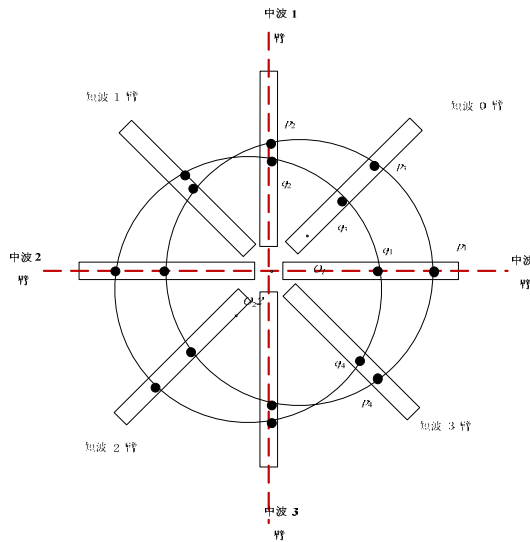


图 4 多目标示意图 Fig.4 Multi-targets

双色数据融合技术利用辐射源的位置信息确定中短波同源脉冲,得到中短波融合数据,其基本思想为:导引头通过信号检测,可以得到  $p_1 \sim p_4$ 、 $q_1 \sim q_4$  八个脉冲的相位。对于任意一组中短波脉冲组合,利用式(1)可以得到一个辐射源圆心位置  $O_i(x_i, y_i)$ ,利用式(2)可以得到一个辐射源圆心位置  $O_j(x_j, y_j)$ ,若  $O_i$  与  $O_j$  的位置满足匹配误差  $\lambda$ ,说明这个中短波脉冲组合是同一个辐射源产生的,以此中短波同源脉冲来计算双色比,得到辐射源的真实双色比。匹配误差  $\lambda$  的选取要综合考虑系统分辨率、弹目距离、干扰投放速度等因素的影响,一般取 0.6 倍的系统分辨率。算法的逻辑流程如图 5 所示。

2.2 基于双色数据融合的目标识别

2.2.1 双色比门限设置

将目标和干扰看作绝对黑体,对中短波段为  $3 \sim 5 \mu\text{m}/1 \sim 3 \mu\text{m}$  探测器在不同温度黑体下进行测试,得到不同温度下的双色比如表 1 所示。

对于目标来说,飞机的红外辐射源主要有 3 个:发动机尾喷口及热部件、发动机尾喷流、飞机蒙皮。飞机发动机尾喷口及热部件近似为灰体辐射,发射率近似为 0.9,其温度与发动机工作状态有关,典型三代战斗机(额定状态)喷口最大温度为  $800 \sim 900 \text{ K}$ 。

发动机尾喷流为喷口排出的高温燃气,其辐射具有明显的选择性。燃气的成份中,含有大量  $\text{CO}_2$  和水蒸气。在非加力状态,尾喷流温度约  $700 \sim 900 \text{ K}$ 。

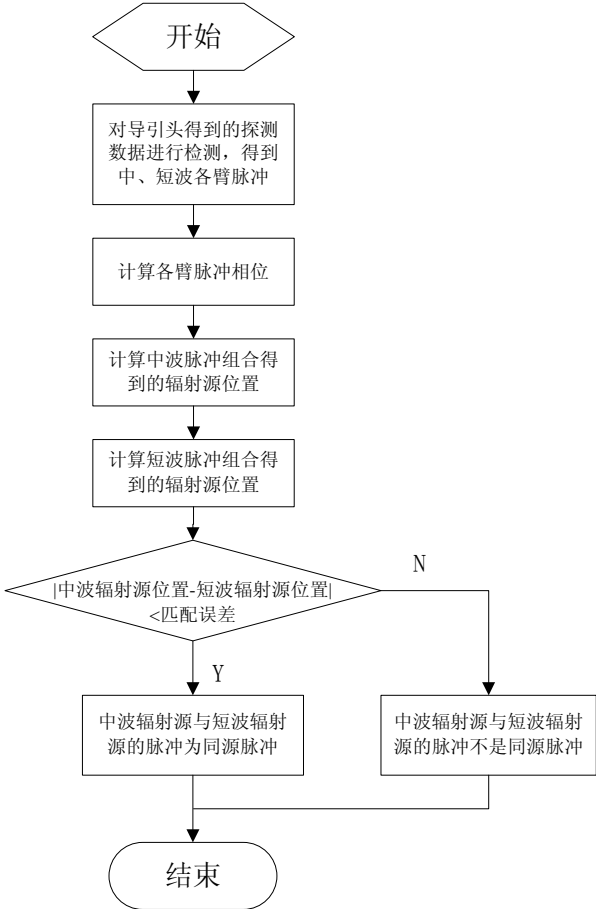


图 5 双色数据融合算法逻辑流程

Fig.5 Process of dual-band data fusion algorithm

表 1 不同温度黑体双色比

Table 1 Radiation ratio of dual bands under different temperatures

黑体温度/K	双色比(短波/中波)
300	0.002
400	0.014
600	0.1
800	0.26
1000	0.45
2000	1.37
2500	1.67

一般的干扰弹都是利用火药燃烧形成的火焰来产生很强的辐射,以镁粉、聚四氟乙烯、特氟伦等材料制成的传统红外诱饵弹(MTV),燃烧生成物主要为高温固态粒子,因而其辐射特性近似灰体,燃烧时火焰温度高达  $2000 \sim 2200 \text{ K}$ 。

对比目标及干扰弹特性并结合表 1 数据,设置双色比门限。由表 1 可知,黑体温度在  $1000 \text{ K}$  以内时,

双色比小于 0.45，黑体温度大于 2000 K 时，双色比大于 1.3，留取一定余量，目标双色比门限设置为 0.5，干扰双色比门限设置为 1.2。而背景情况较为复杂，温度涵盖范围较广，可能包含目标温度也可能包含干扰温度，双色比门限无法准确设置，但可以得知双色比在 0.5~1.2 的辐射源应为背景。

2.2.2 目标识别

目标识别包括抗干扰中的目标识别和非抗干扰过程中过的目标识别。

非抗干扰过程中，对通过 2.1 节确定出的同源脉冲组合，进行双色比计算，若该脉冲组合的双色比小于 0.5，则将该脉冲组合识别为目标。

抗干扰中的目标识别包括干扰来临识别，抗干扰过程中的目标识别和干扰退出识别 3 个部分：

1) 干扰来临识别：当干扰来临时，文献[2]采取干扰弹能量检测技术来判断干扰来临，但若干扰目标压制比较小，仅通过干扰弹能量检测技术无法准确判断干扰来临。因此，本文算法采取干扰弹能量检测与双色融合技术相结合的方式来判断干扰来临：实时监控导引头接收到的能量，在某一时间范围内，能量急剧上升且双色比大于 1.2，则说明导引头视场内出现了干扰弹。

2) 抗干扰过程中的目标识别思想为：对通过 2.1 节确定出的同源脉冲组合，进行双色比计算，若该同源脉冲组合的双色比小于 0.5，说明该同源脉冲组合为疑似目标，若该同源脉冲的双色比大于 1.2，说明该同源脉冲为干扰。对于多个疑似目标的脉冲组合，可以采取辐射强度特征加以剔除，最终将真实目标识别出来。

3) 干扰退出识别：同干扰来临识别类似，文献[2]通过能量检测技术来识别干扰离开导引头视场，通过检测导引头接收到的能量是否下降到预先设定的阈值来判断干扰是否离开导引头视场。随着弹目距离接近，检测到的目标能量增大，目标能量不一定能满足预先设定的阈值，仅通过能量检测技术无法准确识别干扰是否离开导引头视场。本文采取能量检测和双色融合技术相结合的方式来判断干扰是否退出导引头视场：进入抗干扰状态后，实时监控导引头接收到的能量及双色比，若一定时间范围内，能量满足预先设定的阈值或双色比小于 0.5，则说明干扰退出导引头视场。

3 试验及结果

在实验室中，通过考核抗干扰能力来验证基于双色数据融合的目标识别技术的有效性。当干扰目标压

制比较小时，利用幅度特征不能有效区分目标和干扰，因此，小压制比条件能很好地考核本文提出算法的有效性。设置抗干扰试验条件如表 2 所示，对条件进行组合，验证结果如表 3 所示。

从表 3 可以看出，采用本文算法后，小压制比情况下抗干扰成功概率明显提高，大压制比情况下，本文算法的抗干扰成功概率也高于利用幅度特征确定同源脉冲的目标识别策略。

表 2 抗干扰试验条件

Table 2 Experiment conditions of anti-jamming	
试验条件	试验参数
目标能量	1~100 倍阈值
干扰目标压制比	2~4 倍, 30 倍
投放方向	竖直向下
分离速度	1°/s
干扰弹个数	1, 2, 3
投放次数	10 次
投放间隔	0.1 s, 0.3 s

表 3 验证结果 Table 3 Experiment results

干扰数量	成功概率			
	本文算法		利用幅度特征确定同源脉冲的目标识别算法	
	2~4 倍	30 倍	2~4 倍	30 倍
1	100%	100%	90%	100%
2	92%	94%	80%	90%
3	85%	88%	72%	82%

4 结论

本文针对红外双色非成像探测体制对双色目标识别技术进行研究，丰富了多元红外双色导引头抗自然背景和抗诱饵干扰的手段，为提高导引头的抗自然背景能力和抗诱饵干扰能力提供了技术支持。

参考文献：

[1] 史晓华, 张同贺. 红外多元双色导引头抗干扰技术研究[J]. 红外技术, 2009, 31(6): 311-314.

[2] 贾明永, 董德新, 陈勇. 多元双色红外导引头抗干扰技术研究[J]. 航空兵器, 2006(3): 19-22.

[3] 李丽娟, 黄士科, 陈宝国. 双色红外成像抗干扰技术[J]. 激光与红外, 2006, 36(2): 144-143.

[4] 张文华, 王星, 叶广强, 等. 红外正交四元探测器的时域建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2007, 10(19): 4375-4377.

[5] 谢邦荣, 尹健. 四元红外导引头抗干扰原理分析与仿真[J]. 系统仿真学报, 2004(1): 61-65.

[6] 屠文庆. 四元正交探测器阵输出信号的鉴相方式[J]. 航空兵器, 1997(2): 26-29.