

# 红外告警技术

奚 云\*

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

**摘 要** 本文综述了红外告警技术的发展过程与现状及其发展趋势, 简单介绍目前几种红外告警设备, 阐述该系统中红外图像的目标检测问题。

**关键词** 红外告警 图像识别 红外跟踪

红外告警系统以无源方式工作, 具有自身隐蔽性好、抗干扰能力强、探测目标范围广、定位精度高以及作用距离较紫外告警器远等特点, 已成为对军事目标告警的主要技术手段。20 世纪 80 年代后期, 红外焦平面面阵探测器飞速发展并逐步得到使用, 为研制先进的红外告警系统提供了技术保证。

红外告警的功能包括连续观察威胁目标的活动, 探测并识别出威胁导弹, 确定威胁导弹的详细特征, 并向所保护的台发出警报。对威胁目标特征的识别必须可靠, 以免出现虚警; 告警器的反应时间要短, 以使所保护的台有足够的时间采取相应的对抗措施。

## 1 三个阶段的发展

从整机所采取的技术措施看, 红外告警技术在上一世纪的发展可以大致分为以下三个阶段:

第一阶段为 20 世纪 60 年代以前的发展。美国和西方一些国家开始着手机载红外告警接收机的研制, 用于对付红外制导导弹对载机尾后的攻击。由于受当时技术条件的限制, 该类装备只能用于简单作战环境的飞机后面告警, 而作用距离短, 虚警率高, 难以满足实战要求, 因此未能装备部队。

第二阶段为 20 世纪 60 年代至 70 年代中期。这一阶段的红外告警系统主要是美国、瑞

典、加拿大及以色列等国研制的。由于电子对抗技术的日益成熟, 特别是由于计算机技术的飞速发展以及探测器材料和生产工艺的发展, 机载红外告警系统从前端的接收单元到后面的视频处理终端, 都发生了飞跃性的变化, 因此在使用方面也有了突破。这类产品装在作战飞机上, 其告警方位为  $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ , 探测距离可达到几千米。由于计算机作为数据处理终端, 因而具有多目标的搜索、跟踪和记忆能力, 并能适时地配合红外干扰弹和红外干扰机的使用, 达到告警和干扰的自动联动能力。这一阶段的典型产品有美国研制的供 B-52、F-11 轰炸机, F-15 鹰式战斗机及直升机等使用的 AN/ALR-21、AN/ALR-23、AN/AAR-34 及 AN/AAR-38 等红外系统。

第三阶段为 20 世纪 70 年代后期至 90 年代初。在这一阶段, 长线列、超长线列红外焦平面器件和近年来面阵焦平面器件的飞速发展, 雷达与红外复合机动双模告警系统的介入以及先进的数据处理技术发展, 使得红外告警系统具有全方位、全俯仰的警戒能力, 可完成对大批目标的搜索、跟踪和定位。由于大规模集成电路的采用, 系统能用先进的成像显示提供清晰的战场情况, 同时还能自动拖动干扰系统工作, 探测距离可达  $10\text{km} \sim 15\text{km}$ 。这一阶段的典型产品有法国的 VAMPIR、VAMPIR-ML、SPIRAL 系统, 美国和加拿大联合研制的 AN/SAR-8

\* 2000 级硕士研究生

系统,美国研制的凝视型 AN/AAR-43、扫描型 AN/AAR-44 红外告警接收机及 AN/ALQ-153、AN/ALQ-154、AN/ALQ-156 等多普勒雷达导弹探测器,以色列的 SPIRTAS 系统,荷兰的单、双波段 IRSCAN 系统和意大利的 SIR-3 系统。

现在已装备的红外告警系统,除了上面提及的外,还有法国的 VAMPIR 红外导弹攻击告警系统、法国 Matra 公司和 SAT 公司为法国空军的幻影 2000 和法拉尔战斗机研制的 DDM 红外告警系统及瑞典的 IRS-700 红外告警系统等。

在研的系统有:法国的 VAMPIR ML 系统、以色列的 SPIRTAS(DS-35) 系统、以色列 Elisra 公司研制的 PAWS 无源机载告警系统、英国的 ARISE 系统及意大利的 SIR-3 等系统。此外,加拿大的轻型 AN/SAR-8 系统、荷兰的 LR-IRSCANJ 及“天狼星”远程IRSTD 系统也已被列入发展计划。

## 2 红外告警设备实例

### 2.1 AN/AAR 44 无源机载导弹告警系统

由美国雷锡恩系统公司和辛辛那提电子公司研制的 AN/AAR 44 无源机载导弹告警系统,利用来袭导弹的红外辐射进行导弹逼近告警。系统连续在半球空间内进行搜索以确认并跟踪导弹发射。它为机组人员提供导弹方位,并自动控制对抗措施以提高所保护平台的生存能力。

AN/AAR 44 的特点包括自动告警和发出对抗指令,边跟踪边搜索处理,多重导弹威胁分辨处理能力。对日光辐射、丘陵和水面反射的分辨能力,以消除虚警。它配有 MILSTD 1553B 总线接口。

AN/AAR 44 (V) 是 AN/AAR 44 小型化后的产品。它能探测所有类型的导弹,并能覆盖大于半球的空间;它具有多重威胁探测功能;反应速度快。它有足够的测角精度以用于相干光定向红外对抗系统。它可以安装在高性能飞机内部或固定在吊舱里。它还能与定向红外对抗系统一体化。它还可安装在雷锡恩公司的 ALQ 184 电子对抗吊舱里。

AN/AAR 44 (V) 已投入生产,其产品已安装在美国空军 C 130 和 C 141 飞机上。

主要技术性能:重量 9.1kg;覆盖范围方位角为  $360^\circ$ ;仰角为  $\pm 135^\circ$ ;工作温度范围为  $+54 \sim -71^\circ\text{C}$ ;飞机飞行高度接近 45 000 英尺;指示精确度优于  $1^\circ$  (AN/AAR 44 (V)); MTBF<500h。

### 2.2 无源机载告警系统 (PAWS)

由以色列 Elisra 电子系统公司研制的无源机载告警系统 (PAWS) 用于导弹发射的探测和来袭告警。它适合各种类型的机载平台,特别是直升机和运输机。它是一种轻型导弹逼近告警系统,探测由导弹尾焰发出的红外辐射,跟踪并以低虚警率识别威胁与非威胁导弹。它包括一个或两个红外传感器,每个带有一个 T80 532 位的相关处理器。PAWS 可独立工作或与雷达告警接收器和激光告警系统一道使用,以探测并显示威胁性目标。

该系统可探测导弹发动机尾烟,在杂波较高的环境下对其进行跟踪。当导弹威胁飞机时,它可提供逼近方向的精确数据,并能大致计算出攻击时间,还可自动选择合适的有源干扰,自动启动这种对抗措施。即使是在杂波较高的复杂情况下,PAWS 系统的虚警率也极低。目前,无源机载告警系统已全面投产。PAWS 系统具有如下特点:(a) 导弹发射与逼近告警;(b) 识别导弹是否具有威胁性;(c) 多威胁告警能力;(d) 提供精确的导弹逼近方向;(e) 进行时间计算;(f) 自动启动对抗措施。

每一传感器的重量为 6.5kg,尺寸为  $132\text{mm}\times 187\text{mm}\times 365\text{mm}$ ,与其相连的处理器重 9kg,尺寸为  $203\text{mm}\times 389\text{mm}\times 127\text{mm}$ 。

## 3 红外图像的目标检测

从获取目标红外信息的过程来看,目标在距离拦截器较远的一段时间内,其在成象平面内表现为点状特征,称为点目标。随着拦截器至目标之内的距离的逐渐缩小,目标在红外图像平面中逐渐形成为斑点状和面状特征,之后

又以很快的速度溢出视场。因此对于主动拦截器来说,其信息处理系统应包括:目标探测、目标识别、目标捕获、目标高精度跟踪、寻的等一系列复杂处理。当拦截器与目标距离较远时,一方面,红外接收器接收到的目标强度很弱,另一方面,接收器内的噪音及背景杂波干扰又往往较强,因而是一个小信噪比的检测问题。点目标检测器性能的好坏将直接决定红外自动寻的末制导系统的有效作用距离及设备的复杂程度,因而是一个必须解决的关键问题。空间目标场景的信息处理技术在美国 SDI 计划中一直被列为重点研究项目。1991 年 1 月 28 日首先进行了“大气层外再入飞行器拦截系统(ERIS)”实验,1992 年 1 月又进行了 ERIS 的第二次实验,其目的是依靠红外传感器获取的信息,对复杂环境中的目标实施拦截。此外,图像序列中点目标轨迹检测方法还可以推广应用于天文学、计算机视觉、动态景物分析(DSA)、超声及声纳图像处理、星载战场、海洋等监视系统以及空中交通管制系统中。

虽然图像的小目标检测广泛应用于红外告警系统中,是几年来信息处理研究的热点,但是它也是这个领域的难点,存在几个方面的问题。

#### 1) 图像信噪比(SNR)很低

由于红外辐射强度与距离的平方成正比,在远距离情况下,探测器接收到的目标信号强度很弱,一般情况下,图像信噪比很低。因而红外小目标检测问题是一个低信噪比弱信号检测问题。

#### 2) 可用的信息量少

探测器距目标较远,获得的目标图像呈点状,区别目标与噪音的依据,只有目标的运动特征和目标点与噪声点的灰度差异,没有任何形状信息可以利用。

#### 3) 背景信息复杂

大气层中云层的红外辐射,地面,地形和建筑物的干扰不仅强度大,而且具有较强的空间结构。其中云层对空中红外目标干扰量大。因此给目标检测带来了很大的困难。

#### 4) 信息处理量大

目标检测的范围在整个图像空间中,由于图像的低信噪比,为了正确检测目标和确定其在图形中的位置,必须利用多帧图像信息,因此图像检测要在整个三维图像中进行轨迹搜索和检测,这就使得需要处理的数据信息量相当巨大。

图像序列中小目标检测问题实质上可以归结为三维空间中沿目标运动轨迹的能量积累和统计问题。目前,国内外对于该问题提出了许多中小目标检测算法,大致可以分为以下几类:

### 3.1 基于单帧处理的小目标检测方法

这种检测方法的基本原理是利用噪声和干扰的空间分布特性,通过某种形式的门限处理来检测图像平面内的小目标。Kay 基于杂波模型研究了红外小目标的滑动窗检测算法<sup>[1]</sup>,假设目标和杂波不相关,用  $M \times M$  的滑动窗口内数据的协方差矩阵来检测目标是否存在。Steinberg 针对红外告警系统提出了一种高强度干扰背景中小目标的检测方法<sup>[2]</sup>,该方法利用杂波的统计模型来设计自适应门限,通过门限处理来检测目标。Tarun Soni 和 R. Zeidler 应用二维最小均方自适应滤波器作为图像处理来检测图像中的小目标<sup>[3]</sup>。相关背景干扰通过自适应滤波得到预测值,然后从原始图像中减去预测值,从而消除强相关的背景干扰。由于基于单帧处理的小目标检测方法没有充分利用图像序列中的多帧信息,因而对于低信噪比,背景干扰为弱相关或不相关的情况,检测结果并不理想。

### 3.2 基于投影变换的小目标检测方法

基于投影变换的小目标检测方法的基本原理是,将由空间-时间组成的三维图像序列中的目标运动轨迹检测问题通过某种形式的投影变换,转换为二维平面内的轨迹检测问题,然后将二维平面内的检测结果返回到三维空间中。这种方法同直接的三维空间处理相比,数据量和运算量大大减小,但图像序列的投影变换,对于小目标将瞬时损失信噪比,因而其检测能力比三维空间的小目标检测方法差。

二维平面内的直线轨迹检测有很多方法,如 Hough 变换方法<sup>[4]</sup>, Rajlo 变换法<sup>[5]</sup>, Roth 的人工神经网络方法和不变特征提取的神经网络方法<sup>[6]</sup>。

### 3.3 基于三维处理的小目标检测方法

Reed 等把匹配滤波器的概念引入三维图像空间的小目标检测<sup>[7]</sup>,其中考虑的是强杂波结构背景中的小目标检测问题。通过匹配滤波器能使确知目标的信噪比大大提高,从而能检测到低强度的小目标。但在实际应用中,目标的运动轨迹预先未知,因此必须在整个目标运动的参量空间中设置多个滤波器,才能检测出未知目标,可见其运算量巨大。Barniv 把目标运动的状态方程引入轨迹检测过程中<sup>[8,9]</sup>,建立了图像检测度、条件概率和匹配滤波器三者之间的联系,用动态规划技术实现系统指标的最优化。Bstein 利用树型结构组织候选目标轨迹<sup>[10]</sup>,在图像输入过程中,用分枝定界技术对目标进行序贯检测,大大减小了运算和存储量。

### 3.4 基于速度滤波的小目标检测方法

速度滤波可以看成是三维空间中滤波器的一个特例。每个滤波器匹配于一个速度矢量,凡具有这一速度的目标在滤波器的输出中具有最大信噪比,因而可以用统计判决的方法检测目标,速度滤波器的个数由待测目标的速度范围确定。范围大,则要求的滤波器个数多。速度滤波检测方法具有较好的性能,使用的操作为简单的移位相加,适合用大规模集成电路(VLSI)来实现。

### 3.5 基于相邻帧间图像匹配的小目标检测方法

这种检测方法首先对输入图像进行单帧低门限处理,删除图像中大部分噪声点,然后通过门限处理的图像进行相邻帧图像匹配。匹配的基本准则是目标运动的连续性,根据待测目标的速度,在后一帧图像中确定一个对应于前一帧图像中过门限点的小窗口,判定该窗口内是否有图像点与前一帧图像中的点匹配。这种方法的优点是可以迭代方式进行处理。图像输入一帧就可以进行一次迭代处理,因而大大减小了系统的存储量和运算量。

点目标检测问题的研究是一项难度较大、有着重要应用价值的课题,寻找计算可实现性好,适用范围宽,并且在低信噪比情况下有效的运动点目标检测方法,仍然是一个值得探索的研究方向。今后的点目标检测技术的研究可能围绕以下方面展开:

- 1)继续探索研究新的点目标的检测理论和技术,特别是低信噪比下的点目标检测技术。
- 2)建立符合实际目标与背景的数学模型。
- 3)探索获取点目标信息的技术手段和接收设备的研究。
- 4)在点目标检测技术中大力开展人工智能应用技术。

## 4 红外告警技术发展趋势

红外告警技术发展趋势可总结如下:

### 4.1 向高精度测向定位发展

现有的红外告警系统大都处于威胁告警阶段,与理想的光电对抗尚有距离。为了能及时消灭威胁源,要求未来的告警装置除了能准确判明威胁源的种类外,还必须对其定位,要求告警系统具有高分辨率、高灵敏度、较宽的角覆盖及高截获概率等性能。

### 4.2 发展红外复合告警

随着红外技术以及激光技术、紫外技术、射频技术的发展,威胁源的数量和种类都在迅速增多。而现有红外探测器的工作波段一般为  $1\mu\text{m} \sim 3\mu\text{m}$ ,  $3\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$  和  $8\mu\text{m} \sim 12\mu\text{m}$ 。因此,研制采用雷达、红外、激光等技术的复合型复合光电探测器,并不断拓宽其响应频谱范围,降低虚警率和提高多目标处理与识别能力,才能满足未来光电战场的需要。如美国空军为 B-2 飞机研制的复合告警器,可同时探测红外、可见光、紫外及射频威胁。

### 4.3 多功能告警集成

红外告警系统与其它告警系统(如雷达,激光预警装置等)相结合,并与火控系统构成全自动化、一体化的告警系统。加拿大曾计划

在其大中型舰船上,将 AN/SAR-8 红外告警系统、TASMK23 鱼雷捕获系统及 AN/SLQ-32 电子战支援设备互联成新型电子监测设备。由于 TASMK23 具有探测高仰角飞行目标的能力,AN/SLQ-32 可提供远距离目标告警。

#### 4.4 采用更先进的技术

为了提高告警能力,红外告警系统需要不断采用更为先进的技术。①随着高探测率,高响应率的焦平面列阵器件的研制和使用,将使红外告警系统具有更高的探测灵敏度和分辨率,更高的截获概率和更低的虚警率;②随着大规模集成电路技术的发展,系统将不断提高信号处理速度;③随着大规模集成电路技术的发展,系统将以体积小、功能强、运行速度快的单片机来取代微机;④系统的整机不断地向模块结构及组件化方向发展,力求减小体积、重量,提高整机性能的稳定性。可见,随着数据处理技术和红外列阵探测器技术的发展,红外告警系统也必将得到进一步的完善和发展。

#### 参考文献

- [1] 郑文龙,红外空中小目标实时识别告警的算法研究及结构设计, 博士论文, 1999.
- [2] 陈铭节,丁明跃,彭嘉雄,红外图像序列中运动点目标检测技术, 1994.
- [3] 付伟,导弹逼近光电告警系统的新进展, 2001.

- [4] 付伟,侯振宁,国外红外侦察告警设备的新进展, 2001.
- [5] Evaluation of Infrared Target Discrimination Algorithms, ADA128283, April 1983, I. W. Kay, April.
- [6] 3-D Searching Algorithm for IR Point Target Detection, Proc. of NAECON, Ohio, U. S. A, May 1991, Steinberg.
- [7] Tarun Soni, James R. Zeidler. Performance Evaluation of 2-D Adaptive Prediction Filter for Detection of Small Objects in Image Data, IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 2, no. 3, July 1993.
- [8] R. O. Duda, P. E. Hart. Use of Hough Transform to Detection Lines and Curves in Pictures, ACM15, 1972.
- [9] A. N. Riddle, S. A. Rajlo. A Method for Simultaneous Velocity Detection Object Identification Using the Fourier Transform, 15th Asilomer Conf. CSC, 1981.
- [10] M. W. Roth. Neural Networks of Weak Targets In High Clutter Environments, IJCNN, June 1989.
- [11] I. S. Reed, H. M. Shao. Application for Three Dimensional Filtering to Moving Target Detecting, IEEE T-SP Vol. 34, NO. 7, Nov 1983.
- [12] Y. Barniv. Dynamic Programming Solution for Detecting Dim Moving Targets Part II: Analysis, IEEE T-AES Vol. 19, No. 6, Jan 1987.
- [13] Y. Barniv. Dynamic Programming Solution for Detecting Dim Moving Targets, IEEE T-AES Vol. 21, No. 1, Jan 1985.
- [14] S. D. Blostein. Detecting Small Moving Objects in Image Sequences Using Sequential Hypothesis Testing, IEEE T-SP Vol. 39, No. 7, July 1991.

#### • 简 讯 •

### 用微反射镜提高探测器的性能

现今的微切削红外探测器不能测量物体的温度。更确切地说,它们是测定以一给定波长发射的功率并根据此功率来估算基于一个理想热辐射体的输出的温度的。遗憾的是,现实世界不够完美,所以这种方法是不准确的。

如果能获得多个波长的读数,那么探测器的性能就可以得到提高。美国南梅索迪斯特大学的一个研究小组最近设计了一种双色微切削红外探测器,其关键元件

是位于探测器下面的一块反射镜,这块反射镜装在一个带悬臂的硅支架上。当施加电压时,就可以使该支架移动,从而改变光腔的尺寸并改变探测器的响应。如果采用这种方法,单个探测器就能够从光谱区的两部分中捕获信息并且能在波长之间快速切换。

一般说来,反射镜的尺寸与一个测辐射热计的尺寸相接近,大致为  $25\mu\text{m}\times 25\mu\text{m}$  或  $40\mu\text{m}\times 40\mu\text{m}$ 。

据负责这项研究的有关人员称,目前,这种基于微反射镜的双色探测器只是一种理论。该小组的研究人员正在计划制作一个探测器原型。

□ 高国龙