

文章编号: 1672-8785(2013)04-0001-06

光学无源战地预警系统的应用与发展

李一芒^{1,2} 何 昕¹ 魏仲慧¹ 王东鹤¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林长春 130033;

2. 中国科学院大学, 北京 100039)

摘 要: 介绍了国外无源战地预警系统的应用现状与发展趋势。无源战地预警系统主要有红外战地预警系统、紫外战地预警系统和以可见光为接收对象的光电战地预警系统。总结了各类预警系统的关键技术与性能特点, 分析了预警系统的发展方向, 重点展望了融合多类型无源探测技术的多谱段战地预警系统。

关键词: 无源预警; 红外预警; 紫外预警; 光电预警

中图分类号: TN976 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2013.04.01

Application and Development of Passive Detection Systems for Early Warning

LI Yi-mang^{1,2}, HE Xin¹, WEI Zhong-hui¹, WANG Dong-he¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The current status and development trend of passive early warning systems at abroad are presented. The passive early warning systems include infrared early warning systems, ultraviolet early warning systems and opto-electronic early warning systems. The key technologies and performance of various early warning systems are summarized. The development trend of early warning systems is analyzed. Particularly, the multispectral early warning systems containing multiple passive detection technologies are forecasted.

Key words: passive early warning; IR early warning; UV early warning; optical-electronic early warning

0 引言

随着科学技术的不断发展, 传统的战争模式渐渐被打破, 现代战争正引入越来越多的高科技因素。局部战争多以精确远程打击和空中打击作为主要手段。在这种情况下, 各类高价值作战平台如军舰、飞机、战车、导弹发射基地及各类指挥系统在无预警和对抗设备的支持下, 很容易被攻方武器摧毁。因此对来袭飞机或导弹的预警有着重要的军事意义^[1-3]。

传统的预警系统主要由雷达构成。雷达具有技术成熟、探测距离远、全天候、全天时等优点。但作为有源探测系统, 雷达存在易被探测、易受攻击、易受电子干扰、难以进行全方位探测及难以探测截面积小的目标等缺点, 尤其在应对“四大威胁”即反辐射导弹、电子干扰、隐身飞机和超低空突防时难以完成任务, 自身安全也存在严重隐患。而无源预警系统在探测敌方时, 不需要发送任何探测信号, 因此能够从工作原理上消除“四大威胁”。目前世界各军事强国

收稿日期: 2013-03-15

作者简介: 李一芒 (1986-), 男, 吉林长春人, 博士研究生, 主要研究方向为数字图像处理。

E-mail: liyimangkjd@126.com

都在竞相研制无源预警设备^[4]。

无源探测主要分为无线电无源探测、可见光无源探测、红外无源探测和紫外无源探测。其中无线电无源探测设备通过接收目标辐射的电磁波来对目标进行探测和定位,其弱点是当目标处于无线电静默状态时探测设备将失效,而无线电静默恰恰是现代战争突防过程中的一种常用手段。可见光无源探测、红外无源探测和紫外无源探测都可在目标处于无线电静默状态时发挥作用,并具有大视场、全方位、大俯仰的优点^[5]。本文将介绍基于以上三种探测技术的光电战地预警系统、红外战地预警系统和紫外战地预警系统,针对各类预警系统的关键技术与性能特点作进一步探讨,并对多谱段战地预警系统进行展望。

1 无源战地预警系统组成

无源战地预警系统按探测器种类可分为红外战地预警系统和紫外战地预警系统等。按装载平台可分为机载、舰载、车载预警系统等。无源战地预警系统虽然种类多,但一般拥有相似的结构,其系统组成如图 1 所示。

无源探测器接收目标辐射后将信息转换为数字信号并传输至信号处理系统,信号处理系统按一定算法分析探测器所接收的数据并将处

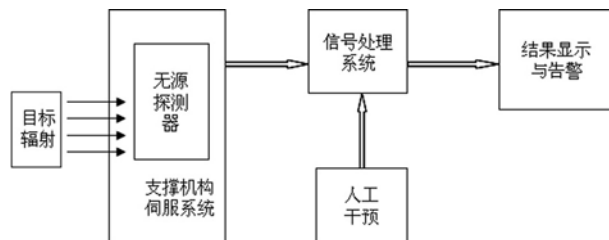


图 1 无源战地预警系统结构图

理所得的结果传输至显示终端。上述结构中,无源探测器需配有一定的支撑机构,以便能够在伺服系统控制下移动。信号处理系统能够通过接口与操作者之间实现人机交互,以便在复杂情况下实现人工干预。

如果将探测器比作预警系统的“眼睛”,信号处理系统则是预警系统的“大脑”。信号处理系统包含运算和控制两大功能,运算方面主要是处理探测器端传来的数据,并且按需要给出处理结果;控制方面主要是控制信号处理系统内部各工作模块以及控制伺服系统、显示系统等外部设备。在架构设计方面,采用 FPGA+DSP 架构取代原有的 PC 机架构,可以有效地保证信号处理系统的实时性,采用多 DSP 或多核 DSP 则能够在原有架构基础上提升系统的运算能力。典型无源预警系统中的信号处理系统结构如图 2 所示^[6]。

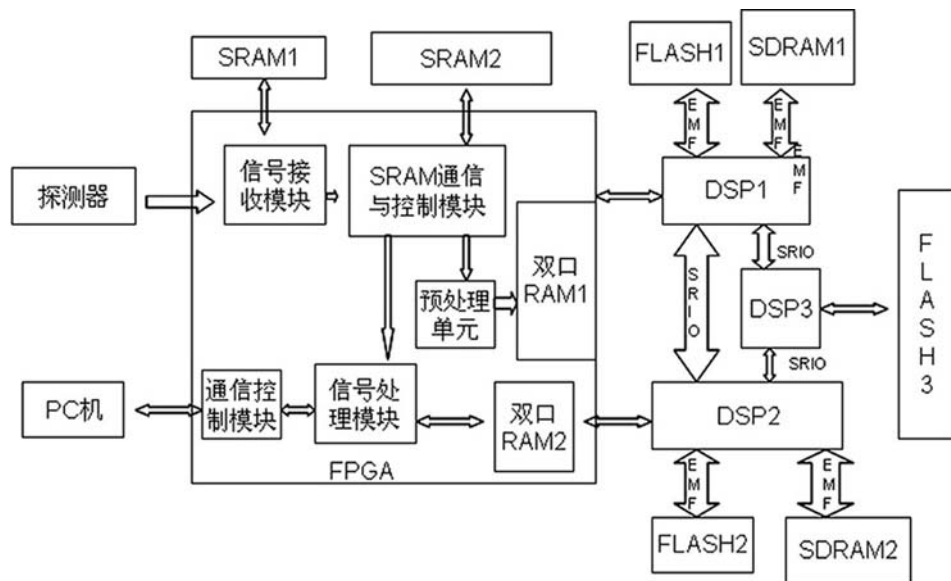


图 2 信号处理系统结构图

图2中信号处理系统的主要工作原理为FPGA接收探测器传来的信号,并在其内部进行预处理时实施背景抑制等操作,DSP则对预处理后的信息进行整理并计算出是否存在威胁目标。如果威胁目标存在,DSP将通过计算给出目标位置和目标类型等信息,并将所得结果回传至FPGA。FPGA对原始信号和DSP处理结果进行整合,生成最终结果,然后将结果输出至控制计算机进行显示和存储。

2 无源战地预警系统应用

2.1 红外战地预警系统

无源探测中用得最多的是红外无源预警系统。该类系统应用最早,也是目前应用最广和最为成熟的一种预警方式。按平台分类可分为天基系统、机载系统、陆基系统和舰载系统。

天基系统中最有代表性的是美国的天基红外预警系统(Space Based Infrared System, SBIRS)和空间跟踪与监视系统(Space Tracking and Surveillance System, STSS)。其中SBIRS由高轨道卫星(SBIRS-high)和低轨道卫星(SBIRS-low)组成,其主要任务是担负对战略战术导弹的预警工作。SBIRS从1996年起开始研制,并于2011年开始发射和部署。目前美国已完成SBIRS-high的4颗同步卫星和2颗大椭圆轨道卫星的部署,并计划于2020年完成对SBIRS-low系统9颗卫星的部署。此外美国军方在2010年发射了两颗STSS验证卫星,并成功地进行了多次对多个弹道导弹目标的跟踪与交接试验和模拟交战试验[7,8]。

机载红外预警系统主要用于对来袭的地空、空空导弹进行预警以保障飞机安全。典型应用有美国B-12轰炸机和F-15战斗机使用的AN/ALR-21、AN/AAR-38,以色列Elistra公司研制的PAWS系统,瑞典生产的装备在JAS 39 Gripen战斗机上的IR-OTIS系统,意大利、英国、西班牙三国空军列装的“海盗(PIRATE)”系统。“海盗”系统的探测器选用的是规格为 768×8 的HgCdTe型探测器,工作波段为 $8 \sim 12 \mu\text{m}$,对

喷气式飞机的探测距离约为74 km,指示精度为 0.25 mrad ,其重量不到60 kg^[9]。

陆基红外预警系统能够针对各类对地精确制导武器进行预警。俄罗斯的“凤凰”防空红外预警系统是典型应用之一。该系统可安装在陆基平台上也可车载机动使用,能够在 360° 方位角和 $-10^\circ \sim 45^\circ$ 俯仰角范围进行探测,工作波段为 $8 \sim 12 \mu\text{m}$,对地空导弹的探测距离为 $5 \sim 7 \text{ km}$,对战斗机的探测距离为 $15 \sim 18$,指示精度为 0.5 mrad ^[8]。

舰载红外预警系统是应用数量最多的一类红外预警系统。法国在舰载红外预警系统的研制和应用方面起步最早。其研制的DIBV-10 VAMPIR IRST系统于1980年首次公布,并于1986年开始逐步装备在几艘“乔治-莱格”级护卫舰、

“卡萨尔”级驱逐舰和老式“图尔雅尔”级导弹驱逐舰上。到1988年,该系统成为了法国主战舰的标准装备。VAMPIR MB IRST系统则是DIBV-10 VAMPIR IRST系统的升级版,具有双波段(中红外、远红外)的工作能力。该系统安装在舰船主桅杆上,能对掠海导弹、飞机、巡逻艇和水雷进行探测和定向,并向武器系统发出目标指示。VAMPIR MB IRST系统对战斗机的作用距离为18 km,对超音速导弹的作用距离为27 km。该系统于1993年6月开始研制,1994年底交付使用,主要被安装在法国新型“夏尔-戴高乐”号核动力航母、“乔治-莱格”级反潜护卫舰上。另外,法国、英国、意大利2002年研制的新一代护卫舰也安装了该系统。美国洛克希德-马丁电子及导弹公司于1996年开始研制SIRST系统,该系统具有每秒钟 360° 的扫描能力,AN/SAR-8型系统是其典型应用之一。SIRST系统工作在 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 波段,俯仰角为 $-2.5^\circ \sim 2.5^\circ$,其主要任务是对付超音速掠海导弹。美国已经于1998年完成了该系统演示样机的关键性能试验,美国海军计划将其装备在“宙斯盾”舰上。其它典型装备如以色列的SPIRTAS系统和荷兰的“天狼星”系统等也都有很好的预警能力。

2.2 紫外战地预警系统

与红外相比,紫外波段的军事应用较晚,由于其特有的优点,越来越受到各国军方的重

视。紫外无源预警技术在导弹逼近预警中得到了充分的发展,相关设备也得到了长足的发展。

紫外无源预警利用“太阳光谱盲区”的紫外波段来探测导弹的火焰与尾焰。太阳光谱盲区指波长在 220 nm~280 nm 的紫外波段^[10]。太阳辐射(紫外辐射的主要来源)中该波段的光波几乎被地球的臭氧层完全吸收。在臭氧层以下,由于其它大气组分的散射作用以及地表臭氧(通常是城市污染物)的吸收,“太阳光谱盲区”的紫外辐射已经变得很微弱。如果在该区域内出现大量“太阳光谱盲区”紫外辐射,就能在微弱的背景下探测出紫外辐射源。紫外无源预警就是利用了这种现象^[11]。

与红外预警系统相比,紫外预警具有不需要制冷、体积小、重量轻、功率低、背景简单和虚警率低等优点,但也存在作用距离短、角分辨率低和目标信号微弱等缺点。目前紫外预警主要用于对近程、低空的来袭导弹进行预警。

20 世纪 70 年代初,美国已经开始了利用紫外波段探测洲际导弹发射的研究工作,但后来因遇到较大障碍而被迫停滞。至 1983 年,美国洛拉尔公司重新研究利用导弹所发射的紫外辐射进行探测,并成功研制了世界上第一台导弹逼近紫外预警系统 AAR-47,被称为第一代产品。该系统能够提供 360° 全方位、俯仰 60° 范围内的探测,目标到达角测量精度为 1°,告警相应时间为 0.5~1 s,探测距离约 5 km,设备总质量为 14.35 kg,功率为 70 W。紫外预警系统 AAR-47 于 1988 年装备部队。海湾战争中,AAR-47 安装在美、英、加等国的直升机和运输机上,其良好性能获得好评。

1997 年美国生产出第二代紫外预警系统 AAR-54 的样机,该系统可以安装到各种战斗机和运输机上,还可安装到坦克和装甲车上。AAR-54 由凝视型、大视场、高分辨率的紫外探测器和先进的航空电子设备构成,具有水平 360°、俯仰 70° 搜索范围,角分辨率为 1°,目标截获时间为 2 s。

美国西屋公司研制了 PMAWS-2000 紫外报警器,其主要安装在坦克和装甲车上,美国海军于 1993 年和 1994 年对该系统进行了实验。

以色列在 1994 年研制了“钢琴”紫外预警系统。该系统主要探测导弹的羽烟辐射,监视范围达到 360° 方位、30° 俯仰,能提供 5° 的角精度。

“钢琴”紫外预警系统能有效地对抗反坦克、反飞机导弹,并可以和其它系统综合、对接。1995 年以色列拉弗尔公司研制成功“吉他”紫外预警系统,告警对象为地-空和空-空导弹,方位 360°,俯仰 90°,重量 ≤10 kg,功耗 ≤200 W,可与 1553B 数据总线接口,能够自动启动红外对抗或红外干扰弹系统,虚警率低。

另外,南非也研制了紫外预警系统 MAW。

2.3 可见光战地预警系统

可见光战地预警系统能够在天气晴好的白天采集清晰的图像信息。这类信息最接近人体肉眼所能获得的图像信息,最便于人工判别信息内容。由于受天气和日照的影响非常大,可见光战地预警系统一般需与红外预警系统等全天时型预警系统协同工作。其典型应用之一是法国 Dassault Rafale 战斗机上装备的 OSF(Optronique Secteur Frontale)系统。该系统是在法国国防部资助下,由 Thomson-CSF 光电公司和 SAGEM 公司共同研制的。另外,瑞典的 Saab Dynamics 公司研制的 IR-OTIS 电视/近红外系统在 2000 年装备在了 JAS 39 Gripen 战斗机上。

3 无源战地预警系统技术发展趋势

下面介绍光学无源战地预警系统的几个主要发展方向。

3.1 更先进的元器件

无源探测器的质量直接关系到光学无源战地预警系统整体性能的优劣,因此未来无源战地预警系统的发展趋势必定是探测器件的更新换代。先进的探测器较传统的探测器能够更真实地捕获外界信息,具有更强的抗干扰和去除系统噪声的能力。德国科学家目前已将砷化镓/铟化镓超晶格技术用于中波红外探测器上,这

类探测器已进入到小规模生产阶段。超晶格技术的应用能够大幅提高中波红外探测器的效率,使探测器能够在短时间内捕获到红外图像。意大利科学家利用铟化镓材料制作的中波红外探测器获得了更大的视场。以色列科学家发明了一种基于 CMOS 传感器的 FLASH 探测系统。这种系统成本低,能通过时间信号、几何特征及延时检验技术来减低虚警率^[12]。

除无源探测器外,无源战地预警系统的发展还需要其它核心元器件的更新。Xilinx 等公司的 FPGA 器件和 TI 等公司的 DSP 器件的发展能够大大提高预警系统中信号处理系统的逻辑分析能力和数据运算能力。

3.2 更先进的技术

先进技术包括先进的硬件技术和先进的算法两方面。在硬件技术方面,系统在不断地向模块化结构及组件化方向发展,这样不仅可以减少体积和重量,保证系统整机的稳定性,而且还便于之后的维修和更换。预警系统体积更小、重量更轻化的发展方向可以保证预警系统的灵活性和机动性。利用先进的高速处理芯片搭建实时的硬件并行处理平台,可以提高系统处理的实时性、可靠性。

在算法方面,随着大量处理器芯片和处理方法的快速发展和进步,人们将采用更先进的数据处理方法来提高系统的数据处理能力和边搜索边跟踪的能力,并将通过提高复杂背景下多目标信号处理能力来降低虚警率、漏警率。软件方面具体包括图像预处理、图像分割及图像目标的模式识别算法的开发。

3.3 向高精度测向定位发展

现有的基于光学成像的预警系统大多处于威胁告警阶段,与理想的光电对抗尚有较大距离。为了能及时消灭威胁源,除了能判明威胁源外,还必须能对其定位,这就要求预警系统具有高分辨率、高灵敏度、大视场及高截获率等性能。

3.4 发展多谱段预警

随着预警系统的不断发展,武器的隐身技术也在不断提高。在躲避可见光预警系统探测时,一般可改变飞行器外形的广反射特性,用小水平面多向散射取代大曲面反射,也可采用喷涂迷彩等方式控制飞行器本身亮度和色度,欧美国家采用的最新方法则是采用视觉隐身材料。如美国波音公司制造的“食肉鸟”型验证机,它独创的类似变色龙的蒙皮涂料以及在进气道周围采取反阴影设计的做法可以产生很好的视觉隐身效果。在躲避红外预警系统探测时,一般可采用降低飞行器红外辐射强度的方法。美国研制的 RAH-66“科曼奇”隐身武装直升机就是通过用机身屏蔽红外辐射进行隐身的。在躲避紫外预警系统时,一般会从降低排气尾焰的能量入手。如美国空军目前的 F-22 型主力战斗机所采用的二元矢量推力喷管,能够使高温燃气迅速在大气中耗散,从而可以有效降低辐射。

为对抗日益发展的光学“隐身”技术,无源预警系统必然将从单一谱段向多谱段预警系统发展。通过拓宽预警系统的光谱响应范围可以降低虚警率,提高目标识别能力。多谱段预警系统能够克服单独使用特定谱段探测器进行探测时易被采取对应措施的缺点,能够更全面、更准确地捕获待测区域各谱段的辐射信息,从而具备更强的探测能力和预警能力。近日参加美韩联合军演的美国 B2 型轰炸机就装备了多光谱告警器,该告警器可以同时探测红外、可见光、紫外及射频目标。

多谱段预警系统虽然是未来发展的必然方向,但发展过程中也存在不可避免的问题。采用多谱段技术对待测区域进行探测,势必要采用多个不同谱段的探测器,这会使得系统的体积、重量和成本大大增加。多谱段预警系统中,多个探测器所获得的信息采用何种方法进行融合处理也是今后需要重点解决的难题。如果能够解决上述难题,多谱段预警系统将在未来发挥巨大的作用。

4 结束语

现代战争中, 光学无源预警系统已成为必不可少的装备。虽然无源预警系统的各项关键技术在应用领域日趋成熟, 但随着科学技术的发展, 无源预警系统会不断面临新的挑战。因此, 发展光学无源预警系统有着非常重要的意义。

参考文献

- [1] Maltese D, Deyla O, Vernet G, et al. New Generation of Naval IRST: Example of EOMS NG [C]. *SPIE*, 2010, **7660**: 766004.
- [2] Aubert G, Baudour A, Blanc-Féraud L, et al. Detection and Tracking of Threats in Aerial Infrared Images by a Minimal Path Approach [C]. *Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2010: 1658–1661.
- [3] 王东鹤. 周扫式多谱段战地预警系统的研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2010.
- [4] 郭志军, 何昕, 魏仲慧. 推扫式实时图像目标识别处理系统的设计 [J]. *光电工程*, 2011, **38**(1): 15–22.
- [5] 郭志军. 周扫式光电预警实时图像处理系统的研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2011.
- [6] 李一芒. 红外预警实时图像处理系统设计与实现 [J]. *液晶与显示*, 2013, **28**(1): 110–114.
- [7] 范晋祥, 郭云鹤. 美国导弹防御系统全域红外探测装备的发展、体系分析和能力预测 [J]. *红外*, 2013, **34**(1): 1–11.
- [8] 晋培利, 李晓林, 毛登森, 等. 红外预警探测系统的现状和发展 [J]. *光电技术应用*, 2006, **21**(3): 1–4.
- [9] 管志强. 红外搜索系统中目标探测与识别技术研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2009.
- [10] 贺东雷, 刘晶雄, 王增斌, 等. 紫外侦察告警技术 [J]. *航天电子对抗*, 2011, **27**(1): 33–35.
- [11] 张宣妮, 鲁帆. 紫外预警系统的发展 [J]. *咸阳师范学院学报*, 2008, **23**(6): 24–26.
- [12] Shkedy L, Markovitz T, Calahorra Z, et al. Megapixel Digital InSb Detector for Midwave Infrared Imaging [J]. *Optical Engineering*, 2011, **50**(6): 061008.
- [13] 乔健, 邵帅. 舰载光电告警技术的现状和发展趋势 [J]. *光机电信息*, 2010, **27**(11): 7–11.
- [14] 胡邵华, 杨丽娜. 导弹紫外告警技术综述 [J]. *飞航导弹*, 2005, **20**(3): 33–35.
- [15] 祁蒙. 光电预警 / 告警系统评价模型中的若干问题研究 [D]. 北京: 北京理工大学, 2001.
- [16] 朱耘. 红外警戒系统综述 [J]. *舰船科学技术*, 2001, **25**(1): 43–47.

新闻动态 News

美国 Northrop Grumman 公司推出霍克防空系统用先进高分辨率传感器

据 <http://globenewswire.com> 网站报道, 美国 Northrop Grumman 公司已开始启用其第四代跟踪附加传感器 (4G TAS), 这是该公司用于霍克防空系统的高分辨率电光 / 红外传感器的最新升级版。

4G TAS 是 Northrop Grumman 公司唯一获得批准的可以提供给全球霍克用户使用的电光 / 红外升级系统, 它能昼夜探测和跟踪快速飞行的低空目标并将目标信号传送给霍克的火控雷达。它能够提供超出视觉范围的威胁评估和辨别能力, 从而实现实时态势感知。

随着该系统的启用, Northrop Grumman 公司将给霍克系统的操作者带来强大且可持续的新能力。4G TAS 包括一个分辨率比现有系统高

一倍以上的 640×480 像元新型红外传感器。它还将包括一个能够在微光环境中增加分辨率和增强操作能力的新型 CCD 相机。另外, 该升级版系统还包含有更加可靠和可持续的电子部件, 因而可以为系统提供不间断的保障支持。现有的所有 TAS 系统、改进型 TAS 系统以及先进红外 TAS 系统都可以升级到 4G TAS 结构。



图 1 TAS 的实物图 (来源: www.northropgrumman.com 网站)

□ 高国龙