

边海防信息系统的光电探测智能化技术

黄自力, 刘怡

(北方激光科技集团有限公司, 四川成都, 610041)

摘要: 本文针对我国边海防信息系统实际应用的主要问题, 提出将光电探测智能化作为解决问题的基本技术途径, 使系统更好地适应边防管控的需要; 涉及探测监控设备的智能联动、雷达/光电图像/GIS 信息融合及基于信息融合的自动目标检测等关键技术。

关键词: 边海防信息系统; 光电探测智能联动; 信息融合; 自动目标检测

0 引言

边海防信息系统(或称边海防监控系统)已不断演变成为包含情报侦察、指挥控制及信息网络等诸多要素的综合信息系统, 是边海防部队基于信息系统体系作战能力的主体^[1]; 典型的边海防信息系统一种具备全部要素的复杂 C⁴ISR 系统, 其体系(System of systems)结构见图 1^[2]。

边海防信息系统将以光电图像探测和边防监控雷达为主的各类传感器部署在边境线上, 对边境线实施 24 小时不间断实时监控, 通过先进的算法处理光电探测器采集的图像数据^[3], 获取陆地或海上边境线上各种活动目标的情报信息(包括目标的属性、位置、活动状态等)。通过稳定、可靠的多种通信手段将情报信息传输到指挥控制系统, 由指挥控制系统对情报信息进行融合、识别, 并对目标的威胁等级进行判断、估计, 协助边防指挥人员作出决策, 指挥员通过指挥控制系统指挥、控制、协调各级边防部队的行动, 对边防各类突发事件作出及时、有效的反应。边海防信息系统是边海防信息化建设的基础信息平台, 对提高边防部队的工作效率, 改善边境管控的严峻形势, 维护国家边境安全起着重要作用。

作为重大专项, 我国自“十一五”期间开始加强边海防建设, 前期大量投入基础设施包括边防道路、铁丝网、港口、基础通信能力、电力保障等。随着基础设施的逐步改善, 各省军区边防委也逐渐开始加大信息化建设的力度。为此, 兵器集团在信息技术发展路线图中将“边海防信息系统”作为两个信息总体技术之一, 制定了相应的发展规划^[2]。

本文针对我国边海防信息系统实际应用的关键问题, 提出将光电探测智能化作为解决问题的主要技术途径, 使系统更好地适应边防管控的需要。

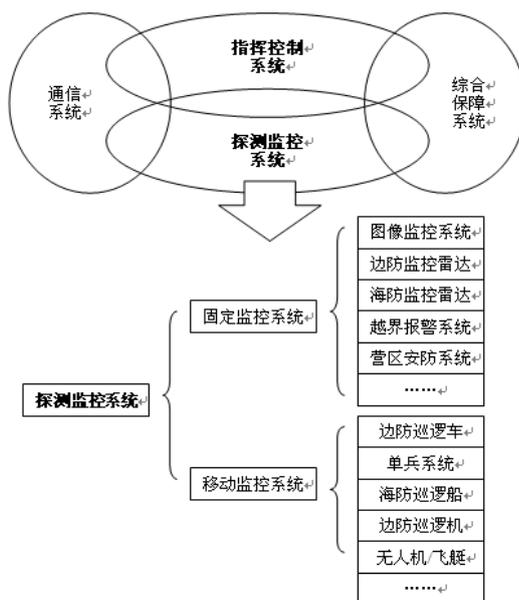


图 1 边海防信息系统体系结构

1 问题的提出与解决途径

目前国内建设的边海防信息系统主要使用模式以“人工值班”为主，即操作员连续监看光电探测系统输出的实时视频或雷达显示，当发现违边越境事件时，立即报告并出动兵力处置。在边海防信息系统实际使用中，战士长时间观察会产生视觉疲劳，其工作强度很大，造成系统“虚警率”及“漏警率”较高；此外，“人工值班”模式要求战士需经过较长时间训练才能胜任工作。因此，如何提高边海防信息系统，特别是目标探测的自动化与智能化水平，是当前该领域面临的主要技术问题。

通过工程实践的初步验证，雷达等预警探测设备与图像探测设备的智能联动与信息融合是解决上述技术问题的可行途径。探测智能联动是指在一种设备探测到可疑目标的情况下，驱动另一种设备在对应区域进行目标确认，从而获得目标更多信息。信息融合与智能联动必须有一套完备的算法进行支撑，是一种获取-指示-获取的链路，期望能通过两种以上信息获取系统的多次处理、相互验证达到收敛的判定结果。由于有两种以上探测系统提供信息量补偿，在信息处理过程中可适当提高对目标警示的容差（降低漏警率要求），并通过补偿的信息量排除误报（降低虚警率），提升系统的侦测精度与准确率^{[4][5]}。

边海防信息系统采用如图 2 所示的光电探测智能联动基本方式，雷达等预警设备探测到目标后，通过目标位置等信息引导图像探测设备对目标区域进行探测，通过目标区域图像分析（自动或人工方式）实现目标确认或虚警排除。



图 2 光电探测智能联动的基本方式

由此看出，通过目标区域图像分析实现自动的目标确认或虚警排除（自动目标检测）是系统光电探测智能化的核心关键，其性能和实用化程度将决定边海防信息系统光电探测的智能化程度。

以自动目标检测为核心的智能光电探测过程见图 3。

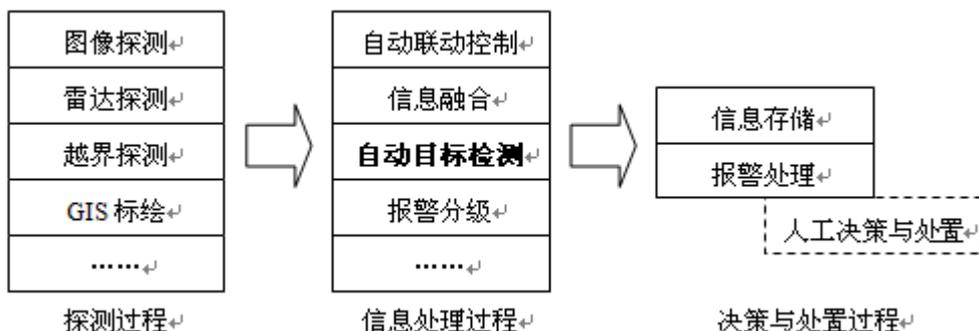


图 3 边海防信息系统智能光电探测过程

涉及的主要技术是：

- 光电图像探测与雷达等设备的能力匹配；
- 雷达、图像及地理信息的融合与处理；
- 图像分析与实用化的自动目标检测算法。

2 光电图像探测与雷达等设备的能力匹配

为实现雷达等预警探测设备与图像探测设备的智能联动,达到通过目标区域图像分析进行目标确认或虚警排除的目的,必须使光电图像与雷达等设备的探测能力匹配。

目前边海防信息系统对海岸线的监控以海防监控雷达为主,海防监控雷达的主要能力指标是:

- a) 探测距离:对船(10000t) 60km;
对船(1000t) 40km;
- b) 精度: 距离 20m; 方位 10mil;
- c) 分辨力: 距离 40m, 方位 20mil。

高配置的光电监控球(红外/白光图像探测设备)的主要能力指标是:

- a) 640×480 非制冷型热像仪, 双焦距 75/150mm;
- b) 200 万像素 CCD 摄像机, 焦距 16.7~1000mm;
- c) 监视半径(目标可分辨的距离):
对车(2.3m×2m) 15km(昼间)、10km(夜间),
对人(1.8m×0.5m) 10km(昼间)、6km(夜间),
对船(1000t) 40km(昼间)、25km(夜间)。

从上述指标分析,雷达探测精度可以满足对光电图像探测设备的引导要求,光电图像探测设备昼间探测能力与雷达匹配,夜间探测能力不足。解决措施是:

- a) 增大热像仪焦距实现其探测增程;
- b) 采用雷达探测获取的目标距离信息,对红外探测器进行距离选通控制,提高其接收灵敏度。

目前边海防信息系统对陆地边境线的监控以光电图像探测设备为主,用于对地观测的边防监控雷达已研制成功,将在国内某边防站进行应用试点,其主要能力指标是:

- c) 工作频率: X 波段;
- d) 探测距离:对移动车辆 15km ($V>2\text{m/s}$, $\text{RCS}=30\text{m}^2$, $\text{Pd}=80\%$);
- e) 对行走人员 8km ($V>0.5\text{m/s}$, $\text{RCS}=0.5\text{m}^2$, $\text{Pd}=80\%$);
- f) 精度: 距离 $\leq 6\text{m}$; 方位 $\leq 0.3^\circ$;
- g) 分辨力: 距离 $\leq 20\text{m}$; 方位 $\leq 3^\circ$ 。

边防监控雷达与光电图像探测设备的能力指标匹配性较好,但对地观测的虚警率较高,因此必须和光电图像探测设备联动使用才能充分发挥其效能。

3 雷达、图像及地理信息的融合与处理

边海防信息系统使用较普遍的探测方式主要有简单的红外对射、光缆震动越界探测和较为复杂的光电(含雷达)探测;光电探测一般以最直观的视频图像作为输出,可采用信号处理技术与“人在回路”的工作方式,且光电探测器选择面广,是使用率最高、探测较可靠的方式之一。光电图像的信息量丰富、精度较高,但缺少目标距离信息,并且图像处理结果往往受环境光照影响较大;雷达能获取目标的距离、运动状态等信息,对外部环境变化的抗干扰能力较强,但对目标的细节信息获取不足^[6];光电图像和雷达的信息融合能发挥两者探测能力上的优势,实现探测能力互补。

光电探测智能化技术的设计构想在融合边海防信息系统光电图像、雷达及地理等信息基础上,实现高效实用的自动目标检测等信息处理,并将综合分析处理结果输入至与之连接的信息网络系统,以达到提高边海防信息系统探测效率、降低虚警的功效^[7]。

雷达与光电图像的融合处理方法相对较成熟,本文重点介绍边海防信息系统中地理信息的获取及其与雷达及光电图像的基本融合处理方法。

地理信息系统(GIS)已应用于边海防信息系统的指挥调度、综合态势生成与显示等方面。为实现地理信息在光电探测中的融合应用,首先需将其转换为相对于各光电探测点的距离信息;通过对融入多层次距离信息(单点距离量、多点距离量及三维距离图像)的目标跟踪与检测方法的研究^[8],证明在光电探测及信号处理中融入距离信息对实现光电探测智能化有重要作用。

除常用的 GIS 系统外, 边海防信息系统光电探测中将引入激光测距, 其作用是:

- a) 实现目标实时测距, 进行融入单点或多点距离量的基于光电图像的自动目标检测与跟踪;
- b) 用于系统部署时的地理信息标定, 形成自主的 GIS 系统; 或对现有 GIS 系统进行校订, 提高其转换的距离信息精度, 研究和实验证明距离量精度达到 0.5~1m, 才能有效发挥在目标(地面车辆、人员等小目标)检测与跟踪中的作用;
- c) 中远期通过激光 APT 加入, 实现小区域的实时三维激光成像, 与边防监控雷达复合, 结合自动目标检测形成高性能的适应地面环境的光电雷达系统。

边海防信息系统地理信息与雷达及光电图像的融合、探测智能联动的基本方法是: 通过雷达或光电图像探测及信号处理获取可疑目标区域, 即感兴趣区(ROI), 通过多点测距实现 ROI 与标定的距离图像(地理信息)的位置匹配; 再对雷达和光电图像处理获取的可疑目标点进行测距, 获取可疑目标与标定的距离偏差, 进行融入单点或多点距离量的基于光电图像的自动目标检测与跟踪。

4 图像分析与实用化的自动目标检测算法

经过多年的研究与工程实践, 已实现较完整的、具有实用性的图像分析与自动目标检测算法集, 见表 1。

表 1 图像分析与自动目标检测算法集

算法	功能	
图像 配准 与 信息 融合	图像配准	1) 采用图像块相关、互相关及 SIFT 等算法对双通道图像(红外/白光)进行配准; 2) 采用图像块相关及 SIFT 等算法对前后帧图像进行配准, 处理后输至运动侦测模块, 或将连续扫描图像拼接成“全景图”。
	运动侦测	处理配准图像, 通过帧间差分与“残差”图像处理等方法搜索图像序列中相对背景运动的目标。
	信息融合	1) 通过已配准图像实现双通道图像的像素级融合处理; 2) 雷达信号处理结果与光电图像序列或图像处理结果的关联。
图像 分析	特征提取	1) 点/线/面特征基元提取及匹配; 2) 纹理等统计特征分析; 3) 时域/频域图像变换, 变换域特性提取与分析。
	区域分割	1) 图像区域分割; 2) “海天线”、“水岸线”、“天际线”及前后景分界线等重要区域分界线提取。
目标 检测 与 跟踪	目标检测	1) 基于单帧或连续帧图像的目标检测; 2) 融入距离信息的基于光电图像的目标检测; 3) 背景估计与抑制条件下的小目标检测。
	自动跟踪	1) 相关跟踪、对比度跟踪与特征匹配跟踪; 2) 活动目标的跟踪。

目前, 对水面目标的自动检测已满足边海防信息系统使用要求。受限于地面环境的复杂性, 对地面活动小目标的自动检测技术还存在差距; 根据兵器集团信息技术发展路线图制定的“十二五”目标是:

- h) 能检测的地面活动目标大小: ≤ 6 像素;
- i) 能检测的目标运动速度: ≤ 2 像素/s;
- j) 报警级别: ≤ 2 级(目标确认/待确认)^[2]。

5 结论与展望

本文根据边海防信息系统实际应用情况, 提出的光电探测智能化技术途径具有良好的可行性和坚实的技术基础, 通过进一步突破光电探测智能联动、雷达/光电图像/GIS 信息融合及基于信息融合的自动目标检测等关键技术, 可大大提高边海防信息系统智能化水平, 充分发挥信息技术对边防管控的基础支撑作用,

提升边海防部队基于信息系统的体系作战能力。

参考文献：

- [1] 刘宝山、郝伟.浅谈边海防部队基于信息化系统体系作战能力建设.《国防》2012年05期
- [2] 黄自力.边海防信息系统体系结构研究.北京:装备平台信息化论坛论文集,2013年5月
- [3] 施勇培.光电与雷达低角跟踪数据融合技术.西安:西安电子科技大学,2006年
- [4] 李丰博.视频融合后的雷达目标跟踪方法研究.西安:西安电子科技大学,2009年
- [5] 鲍乐群、付毓生、黄顺吉.光学图像与雷达图像的数据融合研究.《应用光学》,24卷3期
- [6] 王晓明、乔彦峰、宋立维等.用单站光电雷达一体化系统测量目标三维姿态.《光学精密工程》,2011年08期
- [7] 邹江威.强背景弱信号目标光电检测技术研究.长沙:国防科学技术大学,2004年
- [8] 冉欢欢.融合距离/光电图像的目标跟踪检测研究.成都:西南技术物理研究所,2013年