

文章编号:1007-2780(2014)06-1131-08

雷达告警态势图在小型舰船跟踪预警系统中的应用

孟 勃^{1*}, 韩广良², 李 波³

(1. 东北电力大学 信息工程学院, 吉林 吉林 132012;

2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

3. 北京航空航天大学 计算机学院 数字媒体北京市重点实验室, 北京 100191)

摘要:提出了一种多目标跟踪目标态势显示、目标自动告警的雷达告警态势图。通过可见光探测装置来被动地发现目标, 获取目标的视频图像和方位信息, 采用数字图像处理和模式识别的方法, 来计算所跟踪目标的各种图像信息及运动信息, 生成目标态势, 以实现雷达的部分功能, 并结合全景图成像技术, 通过雷达告警态势图的方式在显示设备上实时显示、告警。采用数字图像处理技术及目标识别算法进行目标测距, 取代光电跟踪系统中较为昂贵的激光测距仪。通过小型舰船实验证明, 这种图像测距的方法同样可以取得较为理想的效果, 尤其是针对中长距离的目标, 系统可以实现较为准确、稳定的跟踪, 同时, 这种方法有效地降低了系统的成本。

关键词:光电系统; 目标跟踪; 态势; 测距; 目标识别

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142906.1131

Radar warning situation map using in photoelectric tracking system

MENG Bo^{1*}, HAN Guang-liang², LI Bo³

(1. Northeast Dianli University, Academy of Information Engineer, Jilin 132012, China;

2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,

Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

3. Academy of Computer Science, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: A radar warning situation map(RWSM) is proposed in this article. This map can measure the distance, bearing, heading, velocity of the object and show these information on the monitor through the panorama and the radar map. The system obtained the video and the orientation of the object by the visible light detector. It calculated the image and the motion of the tracking target through the image processing algorithm and the pattern recognition method. The panorama technology was combined to form the RWSM. The laser range finder was replaced by the digital image processing and recognition technology to estimate the distance of the target very well. The ship experiment results showed that the RWSM can well present the posture of the targets, and the system can track the objects accurately and steadily. The cost of the system has been deduced greatly by the method.

Key words: photoelectric tracking system; target tracking; detection; range finding; image recognition

1 引 言

近年来,随着靶场对设备自动化程度要求的不断提高,对于光电跟踪系统的跟踪和捕获运动目标的能力的要求也越来越高^[1]。光电跟踪系统主要完成对特定区域的昼夜搜索监视、目标探测、目标跟踪与自动告警等功能^[2],主要由前端探测设备、伺服系统和后端控制系统、信息处理系统、人机交互装置和告警装置等组成^[3]。

由于近年来在光电和传感器阵列技术方面取得的持续进展,现代化成像设备将会更紧凑、更模块化、更轻便,态势感知是在各种作战环境下部署越来越多光电传感器的主要原因^[4]。因为光电系统是取得态势感知的理想传感器,所以越来越多的水面舰艇都在装备光电系统以提高自身的图像收集能力。

光电探测/跟踪技术越来越广泛地应用在水面舰艇、潜艇和海军用无人机上,进行 360°威胁探测的作战。目前,美国海军用光电跟踪系统来提高目标识别的准确率以获取态势感知信息,并集成现代舰船作战指导系统和多传感器系统,生成目标运动态势图,提升作战防御能力和指挥部署能力^[5];荷兰的泰利斯公司开发的“天狼星”远程/双频光电搜索与跟踪系统由 2 个独立可调的可见光传感器组成^[6],该公司在舰载光电传感器设计、制造方面一直处于领先地位;法国的 SAGEM 公司把光电指挥仪的功能与光电搜索与跟踪系统的作战能力进行了融合,并把舷上全景光电多功能系统传感头加上舷下电子稳定数据处理设备交付给了比利时海军^[7]。

在国内,海防视频监控站系统^[2]实现了雷达与光电的有效同步工作。中国电子科技集团公司第十一研究所研发了一种专用的雷达图像解析技术,在获得雷达图像后,可直接在图像上点击任意目标,通过软件实现目标当前位置与光电平台的光轴之间角度、距离的解算,实时引导光电的光轴指向目标,而且这种方式不存在多目标队列问题,可根据图像对任意目标按任意顺序进行引导,大大提高了雷达引导的效率和方便性,实现了真正意义上的雷达引导^[8]。

采用雷达进行测距的效果虽然显著,但是价格比较昂贵。本文采用一种数字图像处理及模式

识别算法相结合的技术来模拟光电雷达的测距作用,实现雷达测距的效果,采用可见光探测装置来被动地发现目标,获取目标的视频图像和方位信息,并通过目标识别及跟踪的方法来获取目标距离信息,生成目标的态势信息,结合全景图成像技术,通过雷达告警态势图的方式在显示设备上实时显示、告警,以实现目标态势的正确感知、情况显示及汇报。

2 光电跟踪系统的组成和工作过程

一般来说,光电跟踪系统的组成大致分为几个部分,如图 1 所示,成像探测分系统是前端成像装置,主要是可见光相机,用于形成探测区域的光电图像;伺服转台分系统的作用是按照主控系统指令,带动探测设备按照指定规则运动;主控系统的作用是控制整个系统的协调工作;图像处理分系统主要实现图像的预处理及增强、目标的检测识别、跟踪告警和图像态势生成等功能;图像显示分系统用来显示雷达告警态势图;人机交互装置主要是与操作人员进行控制指令的交互。

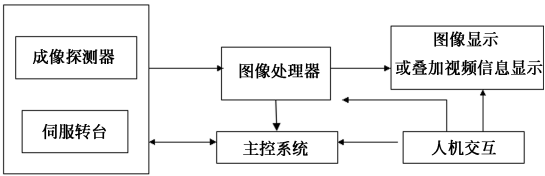


图 1 光电跟踪系统的组成
Fig. 1 Constitution of optical tracking system

它的工作过程是:伺服转台带动成像探测器受主控系统的命令控制,按照预定义巡视策略,自动对系统周围一定范围内的景象进行扫描成像,前端伺服转台处的稳定平台和后端图像处理器中的电子稳像处理机制保持图像稳定清晰,将实时图像和信息显示在显示设备上;伺服转台上的成像探测器(这里是可见光摄像机)获取的场景视频图像通过综合电缆发送到主控系统中的图像处理器,图像处理器对图像进行运算分析,自动识别和捕获出现在图像中的各种目标物体,并对目标进行属性和参数计算,获得目标威胁度参数,发送给主控系统进行告警处理,同时将计算得到的目标视频信息以及各种位置和运动信息通过视频电缆发送到图像显示器处,由显示装置进行目标图像

显示或者添加视频信息显示;主控系统发现某目标超出告警阈值后,触发告警装置,通知操作人员处置,操作人员通过人机交互装置进行危险处置。

3 雷达告警态势图形成和显示关键技术

3.1 基于序列图像的拼接

基于视频序列的数字图像拼接是指具有重叠区的多帧视频通过数字配准和融合获得单幅宽视场静态全景图或动态全景图,数字图像拼接过程包括视频图像的获取、预处理、图像配准和图像融合等步骤^[9]。根据数字图像拼接系统图像输出的类型来分类,基于视频序列的图像拼接可以分为基于视频序列的静态图像拼接和基于视频序列的动态图像拼接^[9]。

多帧图像拼接时存在累积误差是基于视频序列拼接的普遍问题。配准算法的主要目的是为了减小或消除多帧图像拼接时的累积误差^[9]。R. Marzotto^[10]等提出了一种利用视频序列采用仿射变换方法自动构建全景拼接图像的方法,通过全局配准减小了配准积累误差,生成超分辨率全景图像。Dae-Woong Kim^[11]等提出一种采用有序块匹配的快速全局拼接算法。通过引入像素点特征的非确定性信息,用规则间隔的栅格特征替代角点特征和线结构,采用最短路径搜索(Shortest-path Search, SSPS)算法以有序方式寻找精确的全局匹配。

本文采取的是基于改进 SIFT 算法进行视频图像的配准和拼接^[12-14]。由于本文主要阐述的是雷达告警态势图的生成和显示过程,全景图的拼接和显示只是其中一个步骤,在这里将不再赘述。图 2 是本文采用的改进 SIFT 算法进行图像配准的结果。

3.2 全景图的显示

拼接过程没有考虑存在运动目标的情况,仅对静止背景有效,若存在运动目标,可以采用对背景和前景分层表示的全景图技术:将根据主运动分析方法检测出的运动目标从各帧中去除后得到的静止背景图,使用窄条拼接方法生成静止的背景全景图,而将各帧检测得到的运动目标单独存储为前景图,然后根据用户浏览全景图的时刻来将对应帧的运动目标镶嵌到背景全景图上。

为了在使用单个摄像机的条件下,在大视场范围内检测并跟踪运动目标,就需要控制摄像机云台扫描整个视场,此时场景中原本静止的背景及运动物体在摄像机的视频中都是运动的,因而要监测环境中的运动目标,基本的方法是首先依据某种运动模型估计背景运动(主运动),然后将运动目标作为相对于背景运动的出格点检测出来。

3.3 目标的检测和跟踪

室外场景和目标的复杂性使得现有的运动目标检测和跟踪算法准确性较低、鲁棒性较差、处理能力较弱,需要进一步提高检测精度,降低虚警率,提高跟踪的适应性,避免误跟踪。

3.3.1 目标检测

对于运动目标检测,现有方法往往在处理以下两种情况时顾此失彼:一种情况是准确检测到慢速目标或运动着的小目标,另外一种情况是排除树枝叶晃动等背景扰动,以及雾气、沙尘等噪声干扰。这两种情况在处理上的矛盾造成目标检测在准确性和鲁棒性上不能取得令人满意的效果。一个可行的发展方向就是结合像素点的时空相关性,并挖掘视频场景蕴含的信息,提高运动目标检测的层次,把检测从像素点层面提升到语义理解层面,从而更好地去除干扰,准确检测到各种运动目标。相邻帧差法是模式识别传统算法之一,由于算法简单、易在实际系统中实现,故本文采取相邻帧差法进行目标的检测。

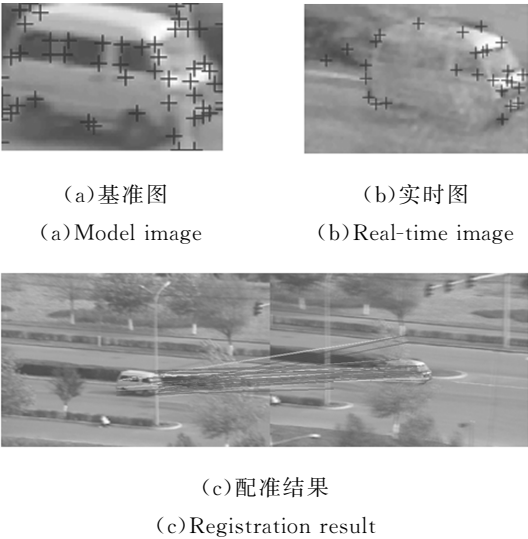


图 2 改进的 SIFT 算法的图像配准结果
Fig. 2 Registration result using the improved SIFT

3.3.2 目标跟踪

现有的目标跟踪算法一般适用于简单背景下的机动目标,或者针对某一类特定目标,在复杂背景下以及存在多运动目标、目标被遮挡、目标作无规律运动以及形变时难以进行连续准确、稳健的跟踪。充分学习目标的有效特征并建立特征的描述,挖掘各种特征之间的互补性,利用多特征融合提高跟踪的准确性和稳健性,进而与人类感知结合起来提升目标跟踪的层次,这是目标跟踪的一个发展方向。粒子滤波算法由于其良好的性能及算法简单、易于实现等特点,近年来被广泛应用于目标跟踪领域,本文采用改进的粒子滤波方法来实现对目标准确、稳定的跟踪^[15]。

本文选取 1 组视频流作为测试图像进行跟踪算法性能的测试,全部测试序列的帧率为 25 帧/s,这些测试中包含了运动目标旋转,局部遮挡等复杂情况,实验在 Windows XP 平台上用 Visual C++6.0 编程实现,选择其中的几帧以及目标跟踪结果,如图 3 所示。从图中可知,当目标((a))被部分甚至全部遮挡时((b)-(e)),改进粒子滤波以牺牲几帧(不超过 10 帧)为代价((f)-(h)),通过不断更新模板的值对目标的运动进行预测,得以重新捕获目标((i)),可见改进粒子滤波跟踪算法对于目标被遮挡的复杂情况具有很好的预测及跟踪效果,并通过优化改进,可以应用于实际光电跟踪系统中^[15]。



(a)第 117 帧
(a) Frame No. 117



(b)第 120 帧
(b) Frame No. 120



(c)第 125 帧
(c) Frame No. 125



(e)第 129 帧
(e)Frame No. 129



(f)第 136 帧
(f)Frame No. 136



(g)第 141 帧
(g)Frame No. 141



(h)第 145 帧
(h)Frame No. 145



(i)第 152 帧
(i)Frame No. 152

图 3 目标发生遮挡的复杂情况下的跟踪结果

Fig.3 Result images when object was occluded

3.4 基于图像处理方法的目標測距

在图 1 中的伺服转台的巡视过程中,成像探测器(这里采用的是可见光摄像机)不断获取周围场景图像,同时图 1 中的图像处理器对图像进行实时的处理和识别,不断检测视场内是否有机动目标存在,当在某个视场内检测到目标后,进行目标跟踪,可持续获取目标的各个运动点处的图像跟踪结果。为了进行目标告警,需要获取已探测到的目标的方位坐标。

本文以小型舰船预警跟踪系统为例,说明如何基于图像处理方法进行目标测距。如图 4 所示,在水平面内,建立以光电探测器当前位置为坐标原点(即系统所在位置为坐标原点)的坐标系, Y 轴指向正北方向。

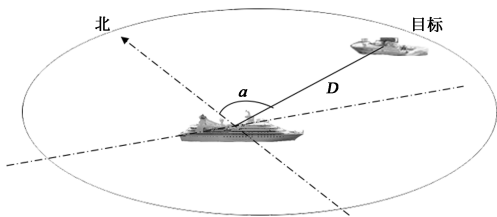


图 4 目标跟踪坐标系示意图
Fig. 4 Coordinate system of object tracking

当伺服转台转动到某一角度后,图像处理器在图像内识别出一个目标,则通过图像中目标脱靶量的计算和视角换算,可以得到当前目标的方位(航向)角 α (实际上由于转台安装在舰船上,这个 α 等于舰船当前航行角 α_1 和转台转动角 α_2 之

和)。为了确定当前识别和跟踪的目标在建立的坐标系内的具体方位坐标,从图 4 中可见,还需要知道当前舰船与被识别目标的距离 D 。

由于本系统相对被跟踪目标来说,属于单目观察,理论上是无法通过目标跟踪解算出与被跟踪目标的距离的。这里我们采用以下方法来单目估算目标距离:由于我们目前针对的是舰船目标,而各种舰船目标的尺寸是大致已知的,因此,通过图像处理器对目标的识别,可大致将目标船只的种类确定下来,根据预输入的各种已知舰船的典型尺寸,我们即可换算出此时所在舰船与被跟踪目标的距离,如图 5 所示。

从图 6 中可知,镜头焦距 f 已知,被测目标在图像中的像长可通过图像跟踪器测算出来,被测目标船只的典型尺寸 L 也已知,则可以粗略计算出当前被测目标的距离 D 。

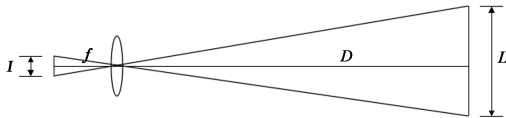


图 5 目标距离的计算
Fig. 5 Calculation of the object distance

至此,我们可得到在图 5 所建立的坐标系内,被测目标的坐标参数 (α, D) ,因而,相对于当前所在舰船的坐标即可计算出来。我们在目标跟踪的每一帧图像中,均进行此计算,则可得到诸如目标的轨迹、速度、加速度等各种运动参数。

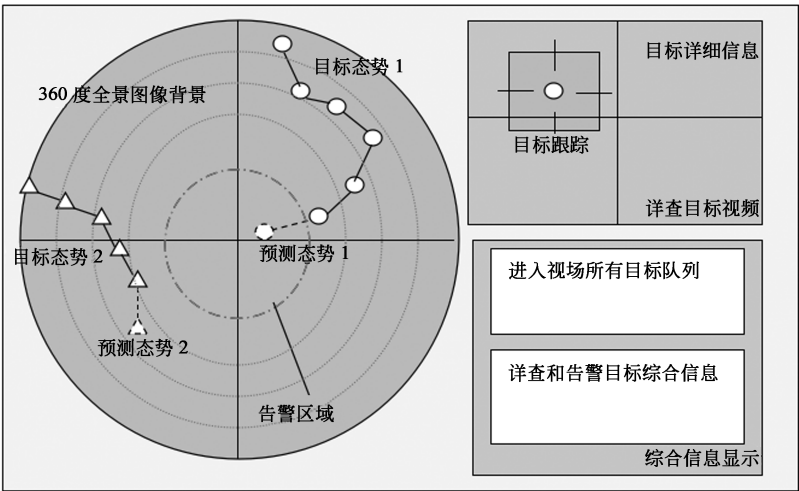


图 6 雷达告警态势图综合显示示意图
Fig. 6 Radar warning situation map(RWSM)

4 雷达告警态势图的生成和显示

4.1 目标态势生成

4.1.1 全景图拼接生成

系统在完成一次 360° 全方位扫描过程中,成像系统不断采集图像,当一个周期的扫描完成后,形成一个全方位图像序列。在扫描过程中,图像处理器将根据 2.4 所述的方法实时计算出每幅图像成像时对应的光轴角度数据(包括俯仰、方位两个角度方向)。由图像处理器将该一个周期图像序列中的单帧,结合各帧角度信息,利用图像拼接技术,逐帧依次拼接成一幅全景图像。由于该全景图像覆盖了 360° 全景范围,因此一般拼接而成的图像为一个圆形图像区域。一个 360° 扫描周期,形成一幅全景图像,送往显示系统显示到雷达告警态势图上。

4.1.2 全景目标编批轨迹

在一次 360° 全方位扫描过程中,当每幅图像采集成功后,送往图像处理器,图像处理器对此图像进行单帧实时图像处理,在图像中自动捕获和跟踪出现的目标,并记录对应目标位置。在生成的全景拼接图中,伴随每单帧图像的位置的全景视场变换,与该帧图像对应检测出的目标位置也经过同样的视场变换,从而形成在全景拼接图中的目标位置。在连续的全景图序列中,图像处理器根据目标的运动规律,对目标进行整体编批,并进行目标轨迹的拟合和预测,从而形成目标的轨迹图。

4.1.3 目标态势生成

在前述的目标编批和轨迹生成过程中,进入扫描区域的每一个目标均被捕获和跟踪,可以计算每一个目标的运动轨迹、运动方向、运动速度等数据,根据这些数据,可得到每个目标的未来某时刻的位置预测。目标的实际运动轨迹加上未来时刻预测位置轨迹,即可形成某目标的运动趋势态势。

4.1.4 详查目标图像和视频生成

在人工选择需详查目标,或系统自动检测出高风险警告目标时,图像处理器根据指定目标在全景图中的位置信息,换算到原 360° 单帧图像序列,从其中抽取包含该详查目标的对应图像帧,同时提取该帧图像对应的伺服转台光轴角度、目

标跟踪位置等信息。在选定详查目标后,转台转动到该详查目标区域,图像处理器将该目标的测距数据同样记录到该目标的跟踪信息中。在每一周期 360° 全方位扫描序列图像中,提取一幅单帧图像,则连续周期情况下,即形成一个对应该详查目标的连续单帧图像序列,以此序列形成连续视频,即形成详查目标连续监视和跟踪视频。

4.2 目标态势显示

4.2.1 全景图显示

图像处理系统生成的 360° 全景图像,显示在左侧圆形区域中,作为该区域的最底层显示背景,每个扫描周期更新一次。其他信息透明叠加在此图像上层。在全景图中心位置设置告警区域线标注,由用户设置告警区域大小,用于进行自动告警目标标注和警告提醒。

4.2.2 目标图像态势图显示

图像处理系统检测出的目标,被分别编批跟踪,将这些编批目标的历史运动轨迹显示到全景图上,包括其未来某时刻的预测位置,并将对应某目标的全部运动位置,连接为连续曲线,从而形成目标态势图。仿照电磁波雷达的显示方式,态势图中反应了目标的方位信息和距离信息,雷达告警态势图是一个示意图,其中采用目标的方位角度和距离信息,绘制与电磁波雷达一致的图形,并按照距离标注,可以清晰地观察目标与本观测点之间的位置信息。态势图中的特殊目标标注:1. 详查目标:自动标注为醒目颜色,如采用蓝色或黄色框框住目标;2. 告警目标:根据图像处理系统自动目标跟踪和预测结果,对于已进入或将进入告警区域的目标,作为告警目标,自动标注为红色,并闪烁提醒。

4.2.3 目标详察显示

对于选择的详查目标,在左侧目标图像态势图中,标注为醒目颜色,以与其他目标进行区别。在右侧目标详查显示区域,显示该目标的详查视频图像,此视频图像为图像处理系统在扫描过程中提取的光电原始图像。详查视频图像中的信息显示:1. 在目标跟踪位置叠加该目标的跟踪窗口;2. 显示目标的当前位置信息(方位、俯仰);3. 显示目标的距离信息(根据数字图像处理方法测距结果)。

4.2.4 雷达告警态势图综合态势显示

结合目标的距离、方位、轨迹等信息进行关联

分析,状态估计等,自动在态势图上自动标绘显示,生成综合态势。在综合信息显示区域显示进入视场所有目标队列;进入视场的所有目标,已被图像处理系统进行自动捕获和跟踪,并编批和轨迹预测,这里按照目标的威胁等级,依次显示目标的各种综合数据参数,包括:目标编号、当前位置(俯仰、方位)、距离、运动速度、运动方向、加速度等。告警和详查目标综合信息,对于进入告警区域的目标,以及用户选择的详查目标,作为重点目标看待,同样依次按照威胁等级显示其综合信息。

4.3 实验结果

在自行设计的小型舰船预警跟踪系统中采用了本文所述方法来形成雷达告警态势图。如图 7~图 9 所示。图 7 显示了系统的实时跟踪图

像,上面叠加了计算所得的目标方位及运动信息;图 8 是跟踪多个目标所计算获得的每个目标的船型、速度、航向等态势信息,并形成了雷达态势图,并根据事先设定的预警策略,报告目标的威胁程度,图中的红色虚线为人为设定的警戒线,一旦有其他物体(观察的目标)运动进入了警戒线内,系统便启动告警装置进行预警;图 9 是小型舰船预警系统中的雷达告警态势图综合显示图,分为雷达告警态势图区域、系统设置区域、图像测距结果显示区域、跟踪模式选择区域、系统状态显示区域等多个信息显示区域。通过系统的实际测试表明,本文提出的方法能够较准确的估计出目标的距离,保证了系统跟踪的准确性和稳定性。

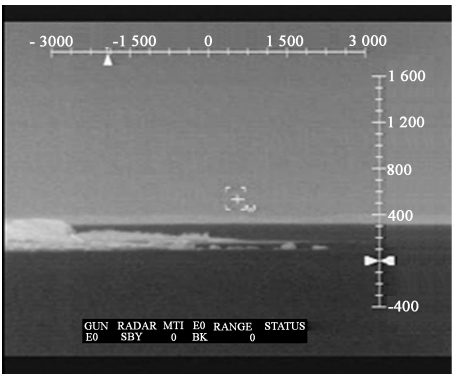


图 7 跟踪画面
Fig. 7 Tracking image

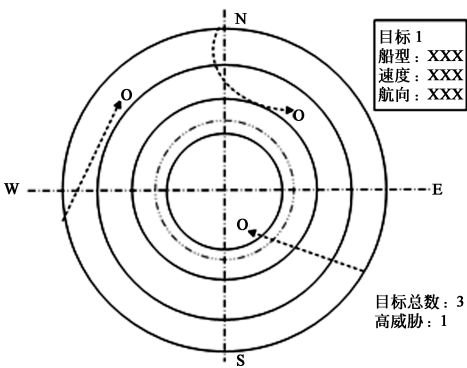


图 8 告警态势图
Fig. 8 Radar warning situation map

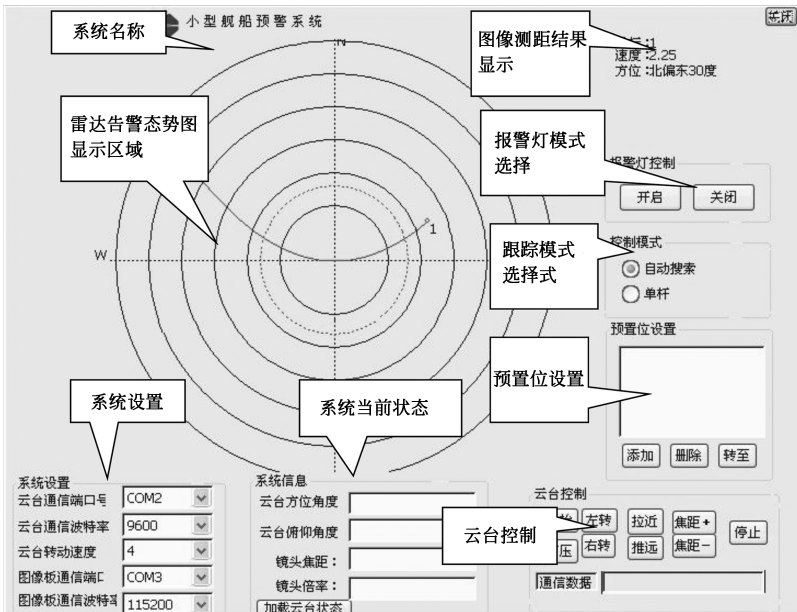


图 9 小型舰船预警系统中的雷达告警态势图综合显示
Fig. 9 RWSM in small ship alert system

5 结 论

本文提出了一种目标态势显示方法。采用一种数字图像处理及模式识别算法相结合的技术来模拟光电雷达的测距作用,实现雷达测距的效果。采用可见光探测装置来被动地发现目标,获取目

标的视频图像和方位信息,并通过目标识别及跟踪的方法来获取目标距离信息,生成目标的态势信息,结合全景图成像技术,通过雷达告警态势图的方式在显示设备上实时显示、告警,实现对目标态势的正确感知、情况显示及汇报。实验结果表明,本文提出的方法简单有效,但是仍需在目标识别技术上改进,以提高目标的识别准确率。

参 考 文 献:

- [1] 王建立. 光电经纬仪电视跟踪、捕获快速运动目标技术的研究[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2002.
Wang J L. Study on TV tracking system of O-E theodolite to track and acquire fast moving targets [D]. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, China. 2002. (in Chinese)
- [2] 李立仁. 浅谈海防监控中的雷达与光电互动和透雾功能[J]. 激光与红外, 2006, 36(12): 1155-1156.
Li L R. Brief descriptions of the function of the interaction between radar and video image and passing through the fog in the system of video monitor and control [J]. *Laser & Infrared*, 2006, 36(12): 1155-1156. (in Chinese)
- [3] 王斌, 唐明南. 光电/雷达复合导引头机动目标自适应跟踪技术[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(9): 205-208.
Wang B, Tang M N. Maneuvering target adaptive tracking technique of photoelectric/radar compound seeker [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36(9): 205-208. (in Chinese)
- [4] 薛志斌. 海军光电系统的最新技术进展[J]. 舰船电子对抗, 2007, 30(5): 14-18.
Xue Z B. Latest technology development of naval electro-optic system [J]. *Shipboard Electronic Countermeasure*, 2007, 30(5): 14-18. (in Chinese)
- [5] Massiomo A. New roles for submarines [J]. *Military Technology*, 2002(9): 46-47.
- [6] Sharon W. Millimeter-wave weapon shifts to over-water applications [J]. *Aviation Weekly*, 2006(14): 54.
- [7] David K B. Radar today [J]. *The Journal of Electronic Defence*, 2005(3): 87.
- [8] 吴壮志, 王冬华. 海防视频监控系统中运动目标跟踪的设计与实现[J]. 计算机工程与科学, 2008, 30(3): 57-61.
Wu Z Z, WANG D H. Design and implementation of moving object tracking in the coastal defense video surveillance system [J]. *Computer Engineering & Science*, 2008, 30(3): 57-61. (in Chinese)
- [9] 余宏生, 金伟其. 数字图像拼接方法研究进展[J]. 红外技术, 2009, 31(6): 348-353.
YU H S, JIN W Q. Evolvement of research on digital image mosaics methods [J]. *Infrared Technology*, 2009, 31(6): 348-353. (in Chinese)
- [10] Marzotto R, Fusiello A, Murino V. High resolution video mosaicing with global alignment [C]. *Proceeding of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2004(1): 692-698.
- [11] Dae-Woong K, Ki-Sang H. Real-time mosaic using sequential graph [J]. *Journal of Electronic Imaging*, 2006, 15(2): 023005-1.
- [12] Lowe D G. Object recognition from local scale-invariant feature [C]. *Proceedings of International Conference on Computer Vision*, 1999, 2: 1150-1157.
- [13] Lowe D G. Distinctive Image features from scale-invariant keypoints [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(2): 91.
- [14] 孟勃, 韩广良. 基于改进的尺度不变特征变换特征点匹配的电子稳像算法[J]. 计算机应用, 2012, 32(10): 2817-2820.
Meng B, Han G L. Electronic image stabilization algorithm using improved scale invariant feature transform [J]. *Computer Application*, 2012, 32(10): 2817-2820. (in Chinese)
- [15] 孟勃, 韩广良, 裴炳南, 等. 基于自适应粒子滤波的目标跟踪算法[J]. 光子学报, 2008, 37(11): 252-255.
Meng B, Han G L, Pei B N, et al. Object tracking based on adaptive particle filter [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, 37(11): 252-255. (in Chinese)

作者简介: 孟勃(1980—), 吉林长春人, 博士后, 副教授, 主要研究方向为图像理解, 图像跟踪。E-mail: mengbo_nana@163.com