

文章编号:1001-5078(2026)02-0284-06

· 光学技术 ·

光雷一体系统长焦镜头快速聚焦算法研究

郝亮,王金波,马林

(中国电子科技集团公司第十一研究所,北京 100015)

摘要:快速聚焦是通过摄像机调整镜头对焦点的位置,使摄像机焦平面上呈现图像的清晰度达到最优的过程。本文介绍了现在常用的长焦镜头快速聚焦技术中的爬坡算法,提出了一个结合雷达数据应用改进的快速定位聚焦算法。快速定位聚焦算法具有利用雷达反馈的距离信息,聚焦速度快,成功率高的优点,优化了传统爬坡算法的全聚焦量程寻找极值点,耗时长的问题。通过设备多次测试结果分析,发现用改进的快速定位聚焦算法比常用的爬坡算法聚焦所用时间更短,效果更好。

关键词:快速定位聚焦算法;长焦镜头;雷光一体系统

中图分类号:TP391;TN959.1 文献标识码:A DOI:10.3969/j.issn.1001-5078.2026.02.020

Research on fast focusing algorithm of long focus lens in optoelectronic radar integrated system

HAO Liang, WANG Jin-bo, MA-Lin

(The 11th Research Institute of CETC, Beijing 100015, China)

Abstract: Fast focusing refers to the process of adjusting the position of the camera's focal point, so that the image presented on the camera's focal plane reaches optimal clarity. In this paper, the commonly used climbing algorithm in current long-focus lens rapid focusing techniques is introduced, and an improved fast positioning focusing algorithm incorporating radar data application is proposed. The fast positioning focusing algorithm leverages radar feedback distance information, offering advantages of fast focusing speed and high success rate, which optimizes the issue of time-consuming full-focal-range extremum search in the traditional climbing algorithm. Through multiple tests with the device, it is found that the improved fast positioning focusing algorithm requires shorter time for focusing and demonstrates better performance compared to the commonly used climbing algorithm.

Keywords: fast localization focusing algorithm; telephoto lens; optoelectronic radar integrated system

1 引言

随着多模复合应用的发展,雷达与光电设备联动的一体化系统的应用成为安防监控领域的主流趋势^[1-2]。光雷一体系统中的光电设备主要由可见光组件、红外组件、转台、信号处理设备组成。由于雷达探测距离较远,为了配合雷达远距离观测使用,光电设备内部的可见光组件一般使用长焦镜头。光雷

一体系统发现目标后,雷达设备会联动光电设备使用,联动过程耗时越短,系统观测效率越高。该系统中长焦镜头的聚焦速度的快慢,直接决定了捕获目标的速度,进而影响系统效能。应用雷达数据来提高长焦镜头的聚焦速度也是国内研究的热点。

2 光雷一体系统长焦镜头聚焦应用原理

光雷一体系统由光电分系统、雷达分系统和一

体化支架构成。

2.1 雷达分系统

雷达分系统主要由天线阵面、收发单元、信号产生单元、信号处理单元、电源组成。

2.1.1 天线阵面

天线阵面主要由天线罩、阵列天线、天线骨架等模块组成。天线阵面实现雷达调制波形的定向辐射、定向接收,采用相控阵体制,通过调整天线各阵元馈口的信号幅度、相位实现波束定向辐射、定向接收。

2.1.2 收发单元

收发单元主要包括发射功率放大、接收低噪声放大、频率变换等模块。收发单元将信号产生单元生成的射频信号,经过功率放大后输出至天线阵面,最终辐射至目标探测区域;同时,将来自天线阵面获得的目标区域回波信号,经过低噪声放大、频率变换后转换为低频信号,输出至信号处理单元。

2.1.3 信号产生单元

信号产生单元主要包括波形生成等模块,主要完成信号产生功能,将产生的信号传输至收发单元。

2.1.4 信号处理单元

信号处理单元主要包括信号采集模块、距离脉压模块、多普勒处理模块、目标检测模块、数据传输模块。其中,信号采集模块主要接收来自收发单元的多路低频模拟信号,将其转换为多路数字信号;距离脉压模块实现数字信号的距离向聚焦,形成一组携带目标距离-幅度信息的数字信号;多普勒处理模块通过多脉冲积累和快速傅里叶变换,形成携带目标距离-速度-幅度信息的数字信号;目标检测模块通过虚警检测、测角、解模糊等处理,实现虚警控制及对地面人、车、无人机等运动目标的检测;数据传输模块将点迹目标距离、方位、速度等信息传输至显示控制终端,进行后续处理。

2.1.5 电源

电源完成电压转换功能,将输入 220 V 交流电转换为雷达分系统各组成所需直流电。

2.2 光电分系统

光电分系统主要由高清可见光摄像机组件、制冷型红外热像仪、伺服转台、信息处理分机和综合电源箱等组成。

2.2.1 高清可见光摄像机组件

高清可见光摄像机组件由成像组件和连续变焦

可见光镜头组成。

成像组件包含图像传感器、信号处理板、编码控制板和电源接口板组成。图像传感器实现光电信号转换;信号处理板实现图像数据处理以及探测器的控制等功能;编码控制板具备图像数据编码压缩、输出网络信号以及控制镜头功能;电源接口板实现外部接口和电源转换功能,对输入电源进行滤波并将电源转换成高清可见光摄像机内部各模块所需的各类电压。

连续变焦可见光镜头由光学透镜组、透雾组件、驱动模组等组成,其中透雾组件由滤光片和切换组件组成,驱动模组由驱动板、电位器和电机等组成。可见光镜头收到指令后,驱动板驱动电机即可完成光学透镜组变焦、聚焦动作^[3]。此外,可见光镜头可实现光学透雾功能。

2.2.2 制冷型红外热像仪

制冷型红外热像仪主要由国产制冷型红外焦平面探测器、成像处理模块和长焦红外镜头组成。成像处理模块通过探测器信号读出电路,获取探测器输出原始图像。长焦红外镜头采用光学连续变焦、高精度光机设计。

2.2.3 伺服转台

伺服转台采用抗风性设计,以确保图像稳定性。伺服转台系统由俯仰组件及方位组件构成。俯仰组件包括俯仰角位置传感器、俯仰电机及伺服驱动/控制模块等,方位组件包括滑环模块、方位角位置传感器及方位电机等。

2.2.4 信息处理分机

信息处理分机主要由综合图像处理模块、视频编码模块等组成,可实现图像分析、图像增强、视频压缩、自动跟踪等功能。

2.2.5 综合电源箱

综合电源箱内集成电源模块等配件,具备交/直流转换等功能。

2.3 工作模式

光雷一体系统工作模式一般分为手动模式和自动模式,手动模式是雷达分系统和光电分系统分别独立观测使用,而自动模式是雷达发现目标后自动联动光电设备进行联合探测。光雷一体系统主要工作模式为自动模式。雷达设备发现目标后,将雷达观测目标的俯仰角、方位角、目标类型、目标批次、目

标速度等相关信息发送给光电设备的信息处理分系统。光电设备的信息处理分系统接收到雷达传递的信息后,结合光电设备的固定位置的经纬度信息,计算出光电设备转台应该转动的角度,联动光电设备的转台转动到指定位置后,信息处理分系统将转动信息发送给转台,转台到达位置后,可见光组件对观测目标进行自动聚焦,待目标成像清晰,跟踪识别该目标。图 1 为光雷一体系统联动工作模式流程图。

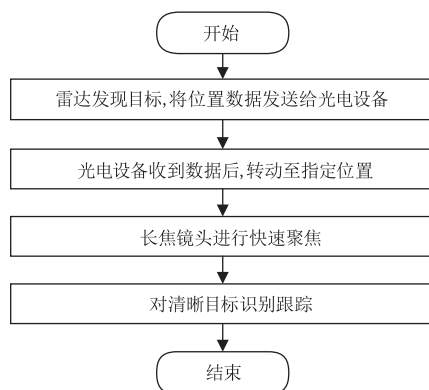


图 1 光雷一体系统联动工作模式流程图

Fig. 1 Optoelectronic radar integrated system process diagram of linkage working mode

3 常用的聚焦算法

现在国内常用的自动聚焦算法为爬坡算法^[4]。爬坡算法一般使用索贝尔算子去计算当前图像的聚焦评价函数值。索贝尔算子是图像处理中的算子之一,主要用作边缘检测和图像聚焦评价函数值计算^[5]。采用索贝尔算子计算图像的聚焦函数值,如果一帧图像的分辨率为 $m \times n$,可以在整帧图像第一行至第三行,第一列至第三列区间用 3×3 的像素矩阵第一次计算像素差值,第二次在第一行至第三行,第二列至第四列的 3×3 的像素矩阵区间计算像素差值,最后一次在第 $m - 2$ 行至第 m 行,第 $n - 2$ 列至第 n 列的 3×3 的像素矩阵区间计算像素差值,累加计算即可得到整帧像素差值。

Z_{11}	Z_{12}	Z_{13}
Z_{21}	Z_{22}	Z_{23}
Z_{31}	Z_{32}	Z_{33}

图 2 像素 3×3 模板图示

Fig. 2 Pixel 3×3 template diagram

横向差值为 A_1 :

$$A_1 = (Z_{11} + 2 \times Z_{12} + Z_{13}) - (Z_{31} + 2 \times Z_{32} + Z_{33})$$

竖向差值为 B_1 :

$$B_1 = (Z_{11} + 2 \times Z_{21} + Z_{31}) - (Z_{13} + 2 \times Z_{23} + Z_{33})$$

整帧图像的差值累计和为 P , P 即为图像的聚焦评价函数值:

$$P = \sum_{i=1}^{n-2} A_i + \sum_{i=1}^{m-2} B_i$$

一般一幅图像边缘越清晰,图像越清晰,同时聚焦评价函数值越大,爬坡算法的核心思想是通过计算当前帧图像的聚焦评价函数值,利用前后帧图像之间聚焦评价函数值的关系对镜头的聚焦方向进行判断^[6],前一帧的图像聚焦评价函数值 P_1 大于后一帧 P_2 ,即下坡需要反向转动,前一帧的图像聚焦评价函数值 P_1 小于后一帧 P_2 ,即上坡需要正向转动^[7]。

长焦镜头的聚焦组件由聚焦电机、聚焦电位器,聚焦机械结构件组成^[8]。通过聚焦电机带动聚焦结构件运动,调节成像聚焦点位置,使图像清晰,在聚焦电机运动的同时,聚焦电位器也随之运动。聚焦电位器即为一个滑动变阻器,两端施加电压时,通过滑动位置的不同反馈不同的电压值,反馈的电压值可作为聚焦量程的位置参考值。该反馈电压通过镜头控制板上处理器的数字采集功能转换成二进制的数值,此数值为聚焦电机的位置反馈值,即聚焦值^[9]。

通过当前聚焦电机反馈的聚焦值,计算出镜头需要移动的步长,反馈控制镜头,使得当前镜头位置位于聚焦评价函数曲线峰值位置,以达到在焦平面上生成一幅清晰图像^[10]。通过调节镜头聚焦电机供电时间,即间断性供电,调节供电占空比控制聚焦电机转动的速度,第一次在聚焦电位器全程范围内寻找峰值点,为了节约时间加大电机转动速度,用聚焦电机最大功率的 80 % 功率来确定峰值点的范围,确定范围后,在该范围内用第二次用聚焦电机最大功率的 60 % 功率寻找用的峰值点。由于计算聚焦评价函数值需要一定的处理时间,导致实时图像的聚焦评价函数值存在延迟,所以需要第三次减慢电机运动速度精确定位,用聚焦电机最大功率的 30 % 功率,慢速转动寻找峰值点的准确位置。聚焦电机反复转动,找到聚焦评价函数曲线峰值位置后,停止转动,图像即为最清晰的状态^[11]。图 3 为爬坡自动聚焦算法流程图。

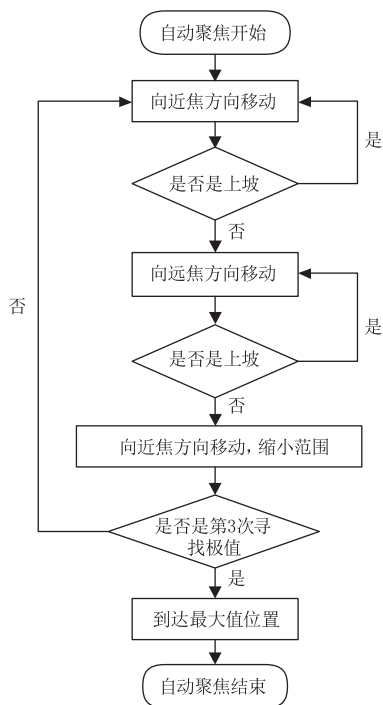


图3 爬坡自动聚焦算法流程图

Fig. 3 Flow chart of climbing automatic focusing algorithm

4 光雷一体系统中的快速聚焦算法

光雷一体系统与单独光电设备的应用区别在于增加了雷达探测目标的距离信息。结合雷达提供的目标距离信息,设计一种快速聚焦算法,缩短聚焦时间,加强联动模式的观测效果。

以安装焦距为 1200 mm 的长焦镜头的光雷一体系统为例,该镜头聚焦电位器的反馈的聚焦值范围为 200 ~ 3900。市场上常用的镜头都具有很好的焦面一致性^[12],即当镜头调至最小视场时,调节聚焦,使图像清晰,此时镜头在变倍过程中图像始终保持清晰,由于系统主要观测远距离目标,多数采用小视场进行观测,所以标定采集数据都在小视场条件下完成。在 25 °C 的环境温度下,在镜头倍率最大视场最小的状态下采集镜头参数。按照光学成像原理,环境温度不变时,同一距离下,图像清晰时对应的聚焦值为定值。使用长焦镜头的最小视场观测目标,记录清晰成像时的聚焦值。在 1 ~ 25 km 的观测范围,每间隔 1 km 采集一个点的清晰成像的聚焦值,在 0.1 ~ 1 km 的观测范围,每间隔 0.1 km 采集一个点的清晰成像的聚焦值,在 10 ~ 100 m 的观测范围,每间隔 10 m 采集一个点的清晰成像的聚焦值。将记录得到的距离值与该距离清晰成像聚焦值用模拟软件,通过离散点拟合生成曲线函数,垂直方向为

聚焦值,水平方向为距离值(图 3)。观察目标距离与该距离下目标清晰点聚焦电位器反馈值对应关系的函数曲线,发现距离越大聚焦值变化越小。

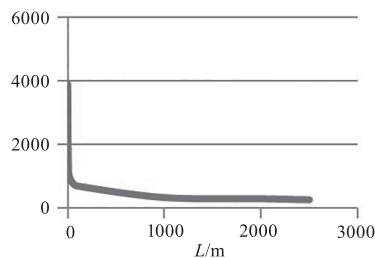


图4 目标距离与聚焦电位器反馈值对应图

Fig. 4 Corresponding diagram of target distance and feedback value of focusing potentiometer

光雷一体系统中快速聚焦算法的实现分为两个部分。

第一部分为系统中的雷达开启扫描后,发现目标,雷达将探测到目标的距离、方位角、俯仰角等信息发送给光电设备的信息处理分系统,信息处理分系统按照接收到的雷达的方位和俯仰角度信息发送转动命令给光电转台,让其转动到相应的位置观测目标,于此同时信息处理分系统按照接收到的目标距离信息,经过目标距离与该距离下目标清晰点聚焦电位器反馈值对应关系的函数曲线,即标定数据,得到该距离的聚焦值,信息处理分系统发送聚焦值至长焦镜头,使长焦镜头转动聚焦电机到达该聚焦值位置附近。

第二部分,因为环境温度影响到长焦镜头的机械结构,使其产生微小变化,导致成像聚焦点会有小范围偏移,当镜头到达函数关系中的聚焦值位置时,图像会有一些的模糊,所以当转台转动到指定位置,可见光图像稳定时,通过聚焦评价函数值进行局部小范围(± 200)的聚焦,达到快速清晰成像的效果。

该光雷一体系统中的快速聚焦算法的创新点为:

- 1) 利用雷达反馈的距离信息和目标距离与该距离下目标清晰点聚焦电位器反馈值的关系,使长焦镜头聚焦电机直接到达清晰点附近,节省了聚焦时间,同时提高了自动聚焦的成功率。
- 2) 根据实际使用情况,结合温度对聚焦点的影响,在转台转动到位后,小范围聚焦,提高了实际应用的适用性,算法简单,资源消耗少。
- 3) 爬坡算法的自动聚焦,必须转台停止转动

后,可见光成像稳定后才具备聚焦条件,而雷一体系统中的快速聚焦算法在转台转动的同时焦距电机已经开始转动到达聚焦点位置,大大减少了雷达光电联动过程的聚焦时间(图5)。

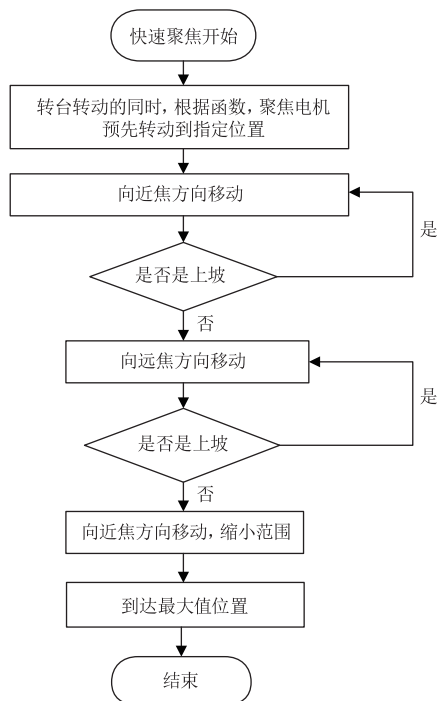


图5 光雷一体系统快速聚焦算法流程图
Fig. 5 Optoelectronic radar integrated system fast focus algorithm flowchart

5 实际测试结果

经测试,1200 mm 长焦镜头聚焦电机全程转动时间为 7 s,由于爬坡聚焦算法需要三次在全程范围内需找峰值点,即常规爬坡聚焦算法的最长时间大于 7 s。使用两套光雷一体化设备,1 号设备使用常规爬坡算法,2 号设备使用快速聚焦算法,对同一目标在不同距离进行雷达光电的联动观测测试,记录两套设备光电转台转动到位后,镜头自动聚焦所用的时间。测试 100 次,计算平均时间、最长时间及最短时间(表 1)。

表 1 聚焦时间对比表

Tab. 1 Focus time comparison table

设备编号	最长时间/s	最短时间/s	平均时间/s
1 号	12	1	6
2 号	2	1	1.34

对同一目标进行联动观测,当 2 号设备的图像已经清晰时,1 号设备的图像还在虚焦状态寻找清晰点。

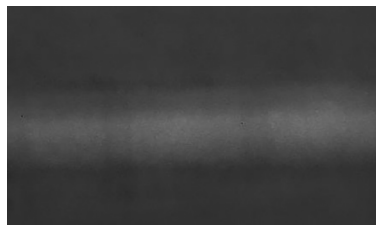


图 6 1 号设备的图像图示
Fig. 6 Image illustration of device 1



图 7 2 号设备的图像图示
Fig. 7 Image illustration of device 2

经过测试结果对比,光雷一体系统中的快速聚焦算法所用时间明显比常规爬坡聚焦算法所用时间短。

6 结论

光雷一体系统快速聚焦算法结合雷达反馈的目标距离信息,通过目标距离与该距离下目标清晰点聚焦电位器反馈值的函数曲线,在转台转动过程中,镜头的聚焦电机同步转动到清晰点聚焦值位置,转台到位后,启动小范围自动聚焦,短时间内使图像清晰。该算法有效利用了光雷系统联动时,转台转动的间隙,减少了长焦镜头聚焦的时间,从而提高了系统联动观测效率。

参考文献:

- [1] Cheng P Y. Camera autofocus algorithm and its application[D]. Xi'an: Xidian University, 2015. (in Chinese)
程鹏宇. 摄像机自动聚焦算法及其应用[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2015.
- [2] Li L L, Xin H. On video processing technology[J]. Journal of Huaibei Professional and Technical College, 2018, 17(3): 112-114. (in Chinese)
李玲玲, 辛浩. 浅谈视频处理技术[J]. 淮北职业技术学院学报, 2018, 17(3): 112-114.
- [3] Xie D F, Zhou A Z. Research on video image processing and application[J]. Digital Technology and Application, 2020, 38(8): 69-70. (in Chinese)
谢丁峰, 周安众. 视频图像处理与应用研究[J]. 数字技术与应用, 2020, 38(8): 69-70.

- [4] Wang X, An Z Y, Yang R N. The research of CCD camera auto-focusing technology based on image definition criterion[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2008, 31(1): 11 - 14. (in Chinese)
王欣, 安志勇, 杨瑞宁. 基于图像清晰度评价函数的 CCD 摄像机自动调焦技术研究[J]. 长春理工大学学报, 2008, 31(1): 11 - 14.
- [5] Xu Q. Principles and development of network cameras [J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2020, (16): 71 - 72. (in Chinese)
徐强. 网络摄像机原理及发展[J]. 电子技术与软件工程, 2020, (16): 71 - 72.
- [6] Li L T, Yang M, Wang G Z, et al. Research on the automatic focusing system in panorama scanner[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2013, 27(11): 1034 - 1039. (in Chinese)
李利涛, 杨明, 王国著, 等. 全景扫描仪自动聚焦系统研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(11): 1034 - 1039.
- [7] Wu J, Wu Y J, Fan S, et al. Signal stability of collinear double pulse laser induced breakdown spectroscopy combining with auto-focusing system[J]. Chinese Journal of Lasers, 2018, 45(7): 0711003. (in Chinese)
武进, 吴跃进, 范爽, 等. 结合自动聚焦系统的共线双脉冲激光诱导击穿光谱信号稳定性研究[J]. 中国激光, 2018, 45(7): 0711003.
- [8] Wang Y, Tan Y H, Tian J W. A new kind of sharpness-evaluation-function of image[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2007, 29(3): 124 - 126. (in Chinese)
王勇, 谭毅华, 田金文. 一种新的图像清晰度评价函数[J]. 武汉理工大学学报, 2007, 29(3): 124 - 126.
- [9] Miao C G, Liu C. Gray scale image edge detection based on improved Sobel operator[J]. Internet of Things Technologies, 2020, 10(11): 37 - 38, 41. (in Chinese)
缪成根, 刘琛. 基于改进索贝尔算子的灰度图像边缘检测[J]. 物联网技术, 2020, 10(11): 37 - 38, 41.
- [10] Huangfu Y J. Design of 10 times ratio visible continuous Zoom TV lens[J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2016, 14(6): 73 - 76. (in Chinese)
皇甫一江. 一种 10 倍可见光连续变焦电视镜头设计[J]. 光学与光电技术, 2016, 14(6): 73 - 76.
- [11] Jia Q L, Wang C X. Mechanism design of focal output for zoom lens[J]. Chinese Journal of Optics and Applied Optics, 2010, 3(6): 649 - 652. (in Chinese)
贾庆莲, 王春霞. 连续变焦镜头焦距输出结构的设计[J]. 中国光学与应用光学, 2010, 3(6): 649 - 652.
- [12] Hu F P, Chang Y L, Ma Y Z, et al. Development of the video automatic focus method[J]. Acta Photonica Sinica, 2010, 39(10): 1901 - 1906. (in Chinese)
胡凤萍, 常义林, 马彦卓, 等. 视频自动聚焦的实现研究[J]. 光子学报, 2010, 39(10): 1901 - 1906.