

文章编号: 1672-8785(2015)07-0032-06

近红外星图全天时定位技术导航应用的可行性研究

赵大鹏¹ 闫 喆²

(1、91049 部队, 山东青岛, 266000 ;

2、海军航空工程学院, 山东烟台, 264001)

摘 要: 随着红外探测器和拍星技术的迅速发展, 利用近红外进行全天时星光目标探测已经成为可能。对近红外全天时星光图像进行了特性分析。近红外星光目标提取、星光目标定位误差修正方法的研究与改进将会给导航系统带来新的革命, 使得全天时导航的稳定性与可靠性变得更佳。根据近红外星图技术及其发展状况, 结合目前典型导航平台的需求, 分析了基于近红外星图全天时定位技术在导航平台上应用的可行性。对其中的典型关键技术进行了论述, 为该领域的研究与应用提供了相应的依据。

关键词: 近红外星图; 导航; 平台; 定位

中图分类号: TN2 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2015.07.007

Research on Feasibility of All-time Location and Navigation Based on Near-infrared Star Images

ZHAO Da-peng¹, YAN Zhe²

(1. 91404 Army 93 Unit, Qingdao 266000, China;

2. Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: With the rapid development of infrared detector and near-infrared star imaging technologies, it is possible to use the near-infrared imaging technology to detect star targets all time. The characteristics of all-time near-infrared star images are analyzed. The study and improvement of near-infrared star extraction and star target location error correction will bring a new revolution to navigation systems. It will make navigation systems be more stable and reliable. According to the near-infrared star map technology, its development status and the current demand of typical navigation platforms, the feasibility to use the all-time location technology based on near-infrared star images in navigation platforms is analyzed. The typical technologies are discussed. The results provide the basis for the related research and application in this field.

Key words: near-infrared star image; navigation; platform; location

0 引言

目前, 舰船海面航行与太空卫星飞行过程中的导航与定位一般采用惯导系统结合其他导

航方式, 比如卫星采用星光导航和地面基站指令导航, 舰船航行采用 GPS 导航和北斗导航等。我国的导航方式具有以下几个特点: 1. 惯

收稿日期: 2015-05-11

作者简介: 赵大鹏 (1977-), 男, 天津宁河人, 工程师, 从事导航与控制领域工作与研究。

E-mail: n13791268762@126.com

导导航采用积分方式, 随时间的增加会造成误差累计, 使导航数据出现大的偏差; 2. 利用 GPS、北斗或星光导航系统对惯导系统进行误差修正, 使导航数据能够满足舰船或卫星的导航需求; 3. GPS 所属的国家为美国, 战时美国可能对我国实施军事使用封锁, 因此可以认为在战时 GPS 导航的可靠性为零。国家近年来加大北斗系统的建设力度。但即使我国拥有一套完善的北斗导航系统, 战时敌对国家针对性的卫星打击依然会造成北斗导航系统的可靠性下降甚至瘫痪; 4. 星光导航能对惯导导航系统进行误差修正, 它是一种被动式的导航, 具有不易受干扰和战时稳定的特性。只要飞行平台拥有完善处理星光目标的方式和定位算法就能完成误差的修正。然而目前可见光的星光导航还只适用于卫星的外太空导航。对于地面目标, 由于白天或天气的不确定性, 星光导航的稳定性相对较差。

针对我国定位与导航现状, 建立一套全天时星光导航系统显得尤为重要。随着探测器技术的发展, 利用近红外进行全天时星光目标探测已经成为可能。开展近红外全天时星光图像的特性分析, 近红外星光目标提取、星光目标定位误差修正方法的研究与改进, 将会给导航系统带来新的革命, 为全天时导航带来更高的稳定性与可靠性。

美国开展近红外全天时星光导航系统的研究已经多年。该国对星空近红外恒星目标进行了多年的观测与记录, 建立了一套完整的近红外恒星表, 包括恒星时间、恒星赤经赤纬、星等和变化状态等多种信息。这套星表作为公开信息能在互联网上购买和下载, 这为国内进行这方面的研究提供了相关的材料。欧洲航天局也针对全天时星光导航进行了相关研究, 其方法和技术水平较美国来说相对较弱, 日本、印度等国也都针对相关信息做了相应的研究。

近些年来我国也开展了一系列类似星光导航技术的研究, 研究主要围绕可见光波段星图展开。由于全天时星光导航技术对硬件及实验条件的要求较高, 技术研究取得的成果不太理想, 相

关的技术论文也十分有限, 尤其是有关全天时近红外星图的特性分析与目标提取方面的技术性文章十分稀缺。本人通过相关文献查阅和研究, 对近红外星图特性的分析与相关特点有了一定的认识和理解^[1-6]。本文围绕解决目前星光导航中无法实现全天时的问题, 探讨基于近红外星图获取恒星位置信息, 结合近红外星图成像探测器特点与成像平台运行机制, 根据近红外星图的识别算法和标识方法, 研究成像平台定位的方法^[7-9]; 同时根据算法的实时性情况与典型成像平台工作特点, 探究使用近红外星图进行全天时导航的约束条件, 为该方法的进一步工程应用的可行性形成相应的理论基础。

1 基于近红外全天时导航技术研究的主要内容

基于近红外全天时导航平台研究主要围绕近红外星图的预处理、恒星的定位标识及与移动导航平台应用间结合展开。首先需要对引起星图降质的原因进行分析, 通过预处理的方法改善图像质量, 掌握对近红外星空图像恒星目标进行实时检测和亚像素级质心定位的方法。然后通过相关的算法进行标识, 结合导航平台的特性对定位标识数据进行处理与误差判断与控制, 并对导航平台使用这些数据提出相应的约束条件。

(1) 针对近红外星图的特点, 结合和借鉴可见光星图的成熟算法, 根据可识别星等恒星的成像分布特点, 确定适合近红外星图的恒星识别算法。

目前, 可见光星图处理方法及导航应用已经有不少相应的成熟技术, 如何结合近红外星图特点进行借鉴和改进是该领域的重要工作。例如, 以近红外望远镜拍摄得到的 RAW 数据作为输入信号源, 可从以下几个方面对 RAW 数据的处理方法进行研究:

分析 RAW 图像灰度的分布特征, 提取恒星目标的特征;

分析近红外星图中干扰云层的成像特征与背景抑制方法;

研究自适应恒星目标位置提取算法;

研究星图目标分类器算法, 识别恒星目标与假恒星目标。

(2) 结合可识别恒星的识别及相关星表, 对恒星进行标定与定位, 探究成像平台的闭环定位方法。搭载近红外星光目标探测器的平台在定位过程中所获得的星图目标存在畸变与相差, 定位前需要进行近红外恒星目标的识别与畸变修正, 以减少定位误差。目前常用的星图定位算法是直接采用修正后的星图进行的, 但即使修正后, 星图也还存在误差, 这个定位过程没有相关数据的返回与评估, 称为开环状态程序。开环定位存在的误差可以通过闭环数据返回重处理减小, 利用搭载平台获得星空目标图像的指向信息和星表数据进行恒星目标识别, 进一步利用识别了的目标和星表中的目标进行一一映射, 记录映射关系; 对平台的定位至少需要三颗恒星, 因此需要完成至少三颗恒星的识别与相关的一一对应计算, 再进一步计算出实际拍摄图像与理想坐标之间的仿射对应关系, 计算出

图像畸变参数与修正参数, 对定位结果进行修正, 最终实现精确定位。针对开环算法的不足和闭环算法的优点, 研究主要包括以下几个方面:

- 近红外恒星目标特征量构建;
- 近红外恒星目标识别算法研究;
- 星表目标匹配一一映射算法研究;
- 程序处理闭环回路迭代算法研究。

形成闭环的图像处理和目标定位数据迭代算法, 计算提高目标定位精度, 结合搭载平台姿态数据和 RAW 数据的融合计算平台漂移造成的恒星目标误差, 实现误差修正, 进一步提高目标定位的精度。

目前国内外的研究对此进行了相关论证^[10-13], 围绕近红外 RAW 星图数据的特点开展的星图图像处理模块算法、搭载平台定位模块算法和模块间数据闭环迭代算法研究在理论和技术上已经具备了相应的基础和条件^[14-17], 能实现搭载平台的精确定位与误差修正。典型的流程如图 1 所示。

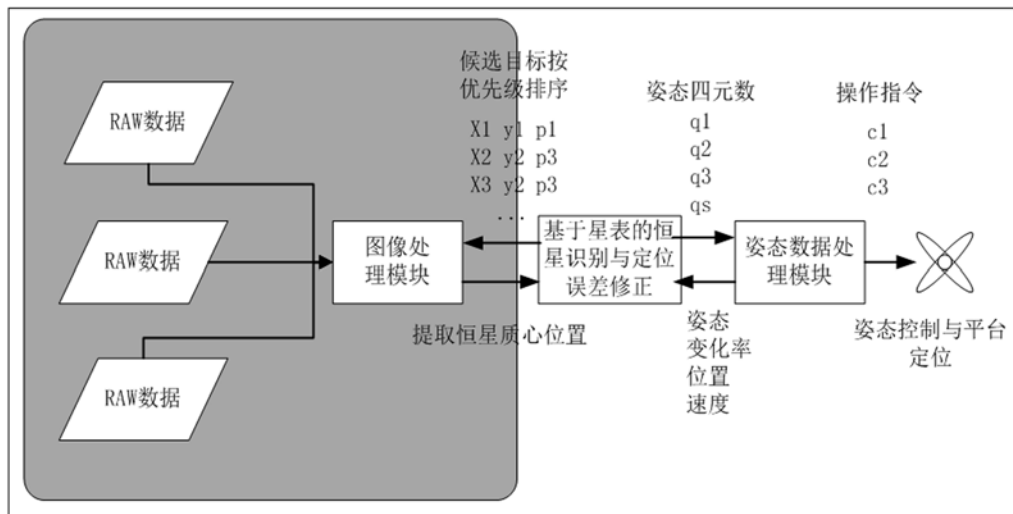


图 1 RAW 图像平台定位数据返回与焦平面指向控制框图

(3) 通过对成像平台与目标相对运动时的目标状态进行分析和定位, 确定反馈信息的迭代处理技术方法, 为可能的导航平台应用提出相应的约束条件, 为进一步的工程可行性研究提供依据。

搭载平台、观测平台在对近红外恒星目标进行观测时由于自身的姿态变化会使得图像处理算法产生一定量的误差。目前 RAW 星图的处理忽略了这个误差源对目标定位精度的影响, 导致定位误差保持在 $4\text{-arc-s}(1\text{-sigma})$ 左右^[18-22]。通

过算法和实验分析可知, 如果引入平台漂移误差修正, 可以将误差减小到 $2\text{-arc-s}(1\text{-sigma})^{[23-25]}$ 。针对搭载平台的姿态数据并结合 RAW 数据进行的目标定位误差修正主要应包括以下几个方面:

RAW 数据与搭载平台姿态数据的融合方法;

观测实时指向位置的确定方法;

焦平面指向误差引起的目标定位误差修正算法;

搭载平台自身姿态调控方法研究。

2 相关的典型关键技术

基于近红外全天时导航技术, 针对近红外星图的特征, 围绕其识别、定位、区域标识、信息传输与反馈等方面展开研究。

2.1 近红外恒星识别与定位技术

针对近红外星图的特点, 借鉴可见光星图的成熟处理技术, 实现准确、实时的算法, 提供相关的标识、定位方案, 是这部分研究的目标。图 2 为三个近红外波段的同一恒星的典型星图。

在 RAW 图像数据在轨压缩后, 利用卷积滤波器对其进行滤波处理以平滑噪声, 也可以在噪声平滑后再进行卷积滤波处理。可根据图像特性自动控制卷积窗口尺寸, 完成卷积滤波器对不同 RAW 图像数据源的处理。再对平滑噪声后的图像进行灰度特性分析, 并对近红外图像背景特性进行估计, 以去除 RAW 图像背景信息。去除背景后, 进一步确定图像分割阈值, 提取出候选目标。图 3 所示为典型深空背景下的 RAW 图像处理流程。

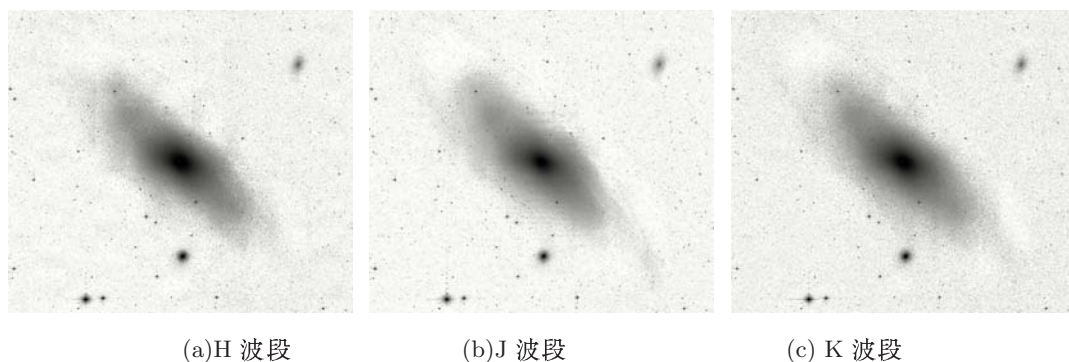


图 2 典型恒星的近红外星图

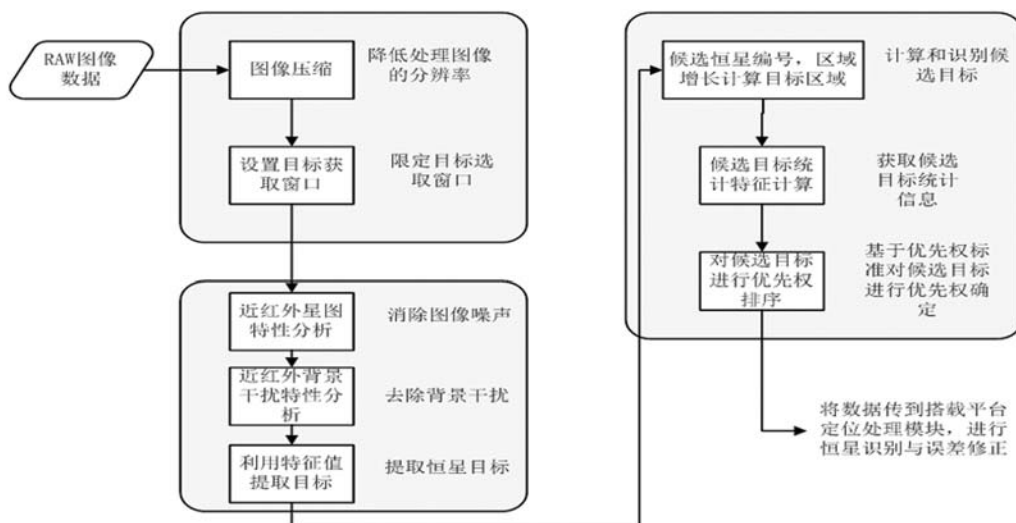


图 3 RAW 图像处理模块流程

针对工程上可行的近红外星光探测器(小视场近红外相机)及其平台性能,对得到的近红外星图进行识别定位的相关方法和选择准则的确定包括:

(1) 典型区域的近红外恒星识别方法。针对我国所用导航运动平台可能使用的典型区域中恒星的特征与发布情况,确定近红外恒星识别的方法及其优选原则,以提取出的候选目标计算统计特征量作为分类和优先权排序的依据。

(2) 基于典型可识别星等,针对其近红外星图图像的恒星标识与定位方案确定。

2.2 搭载平台姿态信息与图像数据融合技术

针对典型的导航应用对象与平台,分别确定识别方法、平台控制间信息流程与控制形成

闭环的相关技术与准则,包括:

- (1) 搭载平台姿态调控技术
- (2) 探测器指向信息修正技术
- (3) 搭载平台自身运动造成的误差修正技术
- (4) 搭载平台姿态信息与 RAW 图像数据
- (5) 识别定位过程产生的实时性问题及其与平台信息同步的匹配准则
- (6) 识别定位方案对探测平台与导航平台的约束条件

图 4 所示为典型的引入搭载平台姿态数据融合的误差修正流程图。该算法对由于卫星姿态变化产生的误差进行定量分析,研究卫星姿态变化对目标定位误差的影响,进行误差模型设计,完成误差修正算法的研究。

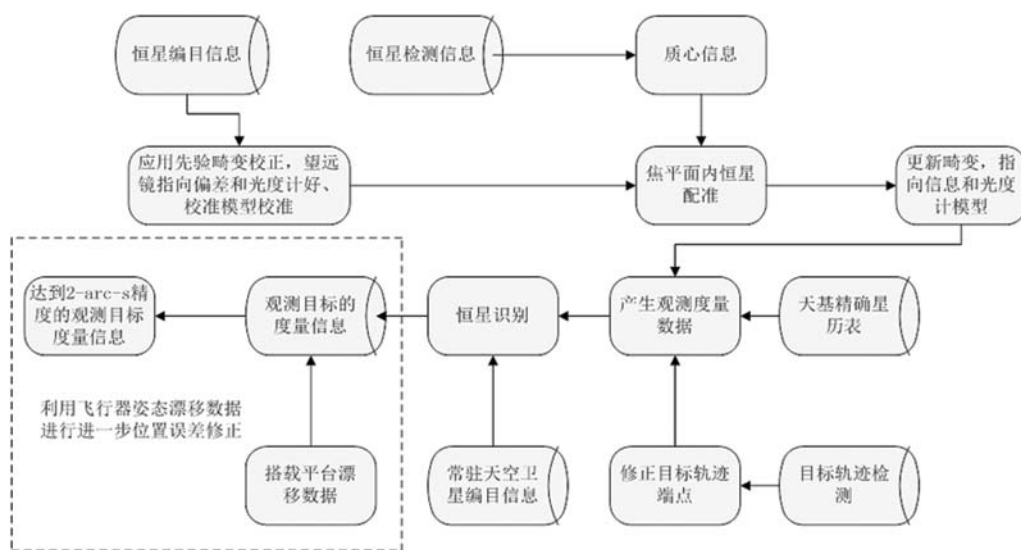


图 4 引入搭载平台姿态数据融合的误差修正流程图

3 结束语

导航系统误差的修正与搭载平台的精确定位无论在军事还是航海航空等领域都具有重要的意义。基于 GPS 与北斗卫星的导航在战时可能遭受敌对势力蓄意破坏,其稳定性与可靠性令人担忧。可见光的星光导航误差修正只能满足夜间导航的修正任务,而航行对导航的需求是全天时的。利用近红外星光进行航行平台导航的全天时导航误差修正,一方面可有效利用星光

导航因被动导航性质不易受干扰与自然星光无法遭到破坏的特点,提高导航的稳定性与可靠性,另一方面利用近红外星光图像探测器具有全天时探测能力的特点有效解决了星光导航白天无法导航的问题。研究了各个处理模块之间的数据交互,改进了以往星光导航直接利用星图数据的模型,建立了反馈回路,形成闭环的处理程序,能进一步提高搭载平台的定位精度。

基于近红外星图的研究与应用目前还是个

崭新的领域。无论是采用理论分析方法对比还是与计算机仿真实验相结合的研究方法,取得的科研成果都会为该领域的理论与实践提供依据。

参考文献

- [1] ReedIS,Gagliardi R M, Shao H M. Application of Three-dimensional Filtering to Moving Target Detection [J].*IEEE Trans. on Aerospace and Electronic System(AES)*, 1983,**19**(6): 898-905
- [2] 郭少军,王哲. 基于高斯拟合局部直方图方法的近红外星图目标检测 [J].*红外*,2013,**33**(5):42-46.
- [3] 陆斌,郭少军,王铎. 近红外星图质心检测 C 样条插值法和高斯方法比较 [J].*光电技术应用*, 2011, 26(5):59-63. DOI:10.3969/j.issn.1673-1255.2011.05.017.
- [4] 王哲,郭少军. 一种基于径向和环向模式特征量的近红外星图匹配识别方法 [J].*红外*,2013,**34**(6):45-48.
- [5] Wang Z, Guo S J. A Near-Infrared Starry Image Stars Identifying Method Based on Star Magnitude Differ and Star Point Pairs[J].*Advanced Manufacturing and Information Engineering Intelligent Instrumentation and Industry Development*, 2014, 602-605.
- [6] Guo S J, Wang Z. The Research of Starry-sky Image Bright Stray Light Background Suppression Method[J].*Advanced Materials Research*, 2014,989-994:4107-4110.
- [7] Reed I S, Gagliardi R M, Stotts L B. Optical Moving Target Detection with 3-D Matched Filtering [J].*IEEE Trans. on AES*,1998, **24**(4): 327-336.
- [8] Chu P L, Optimal Projection for Multi-dimensional Signal Detection [J]. *IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 1988,**36**(5): 775-786.
- [9] 王铎,韩艳丽,孙腾飞. 基于形态学的白天近红外星目标检测 [J].*光电技术应用*,2012,**27**(5):52-56.
- [10] 赵春光,王寿峰. 红外图像中的自适应维纳滤波噪声抑制技术 [J].*光电工程*,2011,**11**(38):79-85.
- [11] 王勇,汪建业. 低信噪比中目标检测提取方法 [J].*大气与环境光学学报*,2008,**3**(1):228-233.
- [12] 李青,田国昌,汪建业. 低信噪比下星光点目标的检测 [J].*大气与环境光学学报*.2008,**3**(1):77-80.
- [13] 罗军辉,姬红兵,刘靳. 一种基于空间滤波的红外小目标检测算法及应用 [J].*红外与毫米波学报*,2007,**23**(3):209-212.
- [14] 张春华,周晓东,陈维真. 基于背景抑制的星空图像运动轨迹提取 [J].*红外与激光工程*,2008,**37**(1):143-146.
- [15] 张必银,张天序,桑农,等. 红外弱小目标实时监测的规整化滤波方法 [J].*红外与毫米波学报*,2008,**27**(2):95-100.
- [16] 廖斌,杨卫平,沈振康. 低信噪比线性运动红外小目标检测方法 [J].*红外技术*,2001,**23**(5):11-13.
- [17] 艾斯卡尔,李在铭. 最优分布变换与微弱点状目标检测技术 [J].*系统工程与电子技术*,2003,**25**(1):103-106.
- [18] Blostein S D, Richardson H S. A Sequential Detection Approach to Target Racking[J].*IEEE Trans. on AES*, 1994, **30**(1): 197-212
- [19] Blostein S D, Richardson H S. Detecting Small Moving Objects in Image Sequences Using Sequential Hypothesis Testing [J].*IEEE Trans. on Signal Processing*, 1991,**39**(7): 1611-1629.
- [20] 李红艳,吴成柯. 一种基于小波变换的序列图像中小目标检测与跟踪算法 [J].*电子与信息学报*,2001,**23**(10):943-948.
- [21] 李红艳,吴成柯. 一种基于小波与遗传算法的小目标检测算法 [J].*电子学报*,2001,**21**(4): 81-83.
- [22] 崔常崑,林英,陈景春. 低信噪比缓动点目标的序贯检测算法的分析和改进 [J].*电子学报*, 2001,**29** (6): 820-823.
- [23] Johnston L A, Krishnamurthy V. Performance Analysis of a Dynamic Programming Track before Detect Algorithm [J].*IEEE Trans. AES*, 2002,**38**(1): 228-242.
- [24] Tonissen S M, Evans R J. Performance of Dynamic Programming Techniques for Track-Before-Detect [J].*IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 1996,**32**(4): 1440-1451.
- [25] Johnston L A, Krishnamurthy V. Performance of a Dynamic Programming Track before Detect Algorithm [J].*IEEE Trans. on AES*, 2002,**38**(1): 228-242.