

引文格式:詹银虎.测日天文导航理论及技术研究[J].测绘学报,2017,46(2):267. DOI:10.11947/j.AGCS.2017.20160542.

ZHAN Yinhu.Theory and Technology Research on Celestial Navigation Based on the Sun[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,2017,46(2):267. DOI:10.11947/j.AGCS.2017.20160542.

## 测日天文导航理论及技术研究

詹银虎

信息工程大学导航与空天目标工程学院,河南 郑州 450001

## Theory and Technology Research on Celestial Navigation Based on the Sun

ZHAN Yinhu

Information Engineering University, Zhengzhou 450001, China

美国国家航空航天局(NASA)勇气号(Spirit)、机遇号(Opportunity)和好奇号(Curiosity)火星车分别于2004年1月4日、2004年1月25日和2012年8月6日登陆火星,并成功开展科学考察工作,取得了一系列重大发现,包括火星表面过去存在液态水的证据。机遇号火星车已在火星表面服役12年,行驶距离超过42.195 km,高精度的火星车定位技术对火星车的安全行驶和科学目标的实现发挥了重要作用。由于火星上没有类似于GPS的设备,且地磁场较弱,因此机遇号火星车采用Pancam相机作为太阳敏感器确定航向,并融合里程计和IMU信息实现航迹推算。由于航向确定精度仅为 $\pm 3^\circ$ ,致使航迹推算误差大于里程的5%。论文针对目前火星车定位定向精度较低的问题,展开了深入研究,主要内容如下。

(1) 针对鱼眼相机(太阳敏感器)较大的成像畸变问题,提出了基于恒星矢量观测的鱼眼相机检校模型。与经典的基于半视场角约束的鱼眼相机检校模型相比,新模型中的观测量不仅包括天顶距,而且包括方位角。新模型采用3个罗德里格参数表示外方位元素,避免了复杂的三角函数计算,大大简化了计算公式。地表实测星图数据表明,新模型在约束方位角误差方面具有明显的优势,有效提高了鱼眼相机的检校精度。值得注意的是,论文提出的恒星法鱼眼相机检校,对于实现火星车太阳敏感器的在线检校具有重要的应用价值。

(2) 目前国内外主要采用灰度质心法提取太阳图像质心,算法抗噪能力差,精度较低,且没有考虑视场边缘非圆形太阳图像的质心提取问题。论文采用Sobel+Zernike矩+圆拟合算法提取圆形太阳图像质心,平均精度约为0.043像素( $1\sigma$ ),目前国内外文献中最好结果为0.072像素,论文将精度提高了0.67倍。针对鱼眼相机视场边缘非圆形太阳图像,提出了Sobel+Zernike矩+椭圆拟合算法和Sobel+Zernike矩+球面圆拟合算法提取质心,精度约为0.075像素( $1\sigma$ )和0.082像素( $1\sigma$ ),解决了全天区太阳图像高精度质心提取问题。

(3) 目前采用的高度法测日定位需要长时间(一般 $>30$  min)跟踪观测太阳,影响了导航的实时性。论文从病态问题的角度看待测日定位问题,研究如何在超短跟

踪观测时间(1 min~2 min)内实现快速定位。分析了病态问题产生的原因及诊断方法,通过引入正则化等有偏估计的方法在一定程度上改善了病态性,重点研究并揭示了位置初值对有偏估计的影响规律。论文进一步致力于改进定位模型,从坐标转换的角度看待天文定位问题,提出了一种无需初值及迭代且能同时实现定位和定向的新算法。仿真计算结果表明,与高度法定位相比,新算法可以更好地克服测日定位中的病态问题,提高定位精度,但提高程度与太阳位置及跟踪观测时长有关。地表实测数据结果表明,新算法将定位精度提高了大约12.8%。

(4) 论文构建了以鱼眼相机、电子水平仪和天文计时器为核心的测日天文导航原理样机,在中原地区的试验结果表明,静态条件下的航向确定误差小于 $1.5'$ ,目前收集到的国内外文献中最好结果为 $6.7'$ ,论文将这一精度提高了3.5倍。静态条件下对太阳的跟踪观测时间为30 min时,平均定位误差约为3 km,目前收集到的国内外文献中最好结果为8.546 km,本文将这一精度提高了大约1.8倍;当跟踪观测时长为60 min时,定位误差约为1.0 km~3.7 km;当跟踪观测时长为90 min时,定位误差约为0.62 km~0.89 km。

本文的研究成果对于提高火星车自主导航精度具有重要的意义,对于我国2016年刚刚启动的火星探测车计划具有重要的参考价值。

中图分类号:P228

文献标识码:D

文章编号:1001-1595(2017)02-0267-01

基金项目:国家自然科学基金(41604011)

收稿日期:2016-10-27

作者简介:詹银虎(1986—),男,2015年12月毕业于信息工程大学,获工学博士学位(指导教师:郑勇教授),研究方向为天文导航。

Author: ZHAN Yinhu(1986—), male, received his doctoral degree from Information Engineering University on December 2015, majors in celestial navigation.

E-mail: oscaradad@163.com