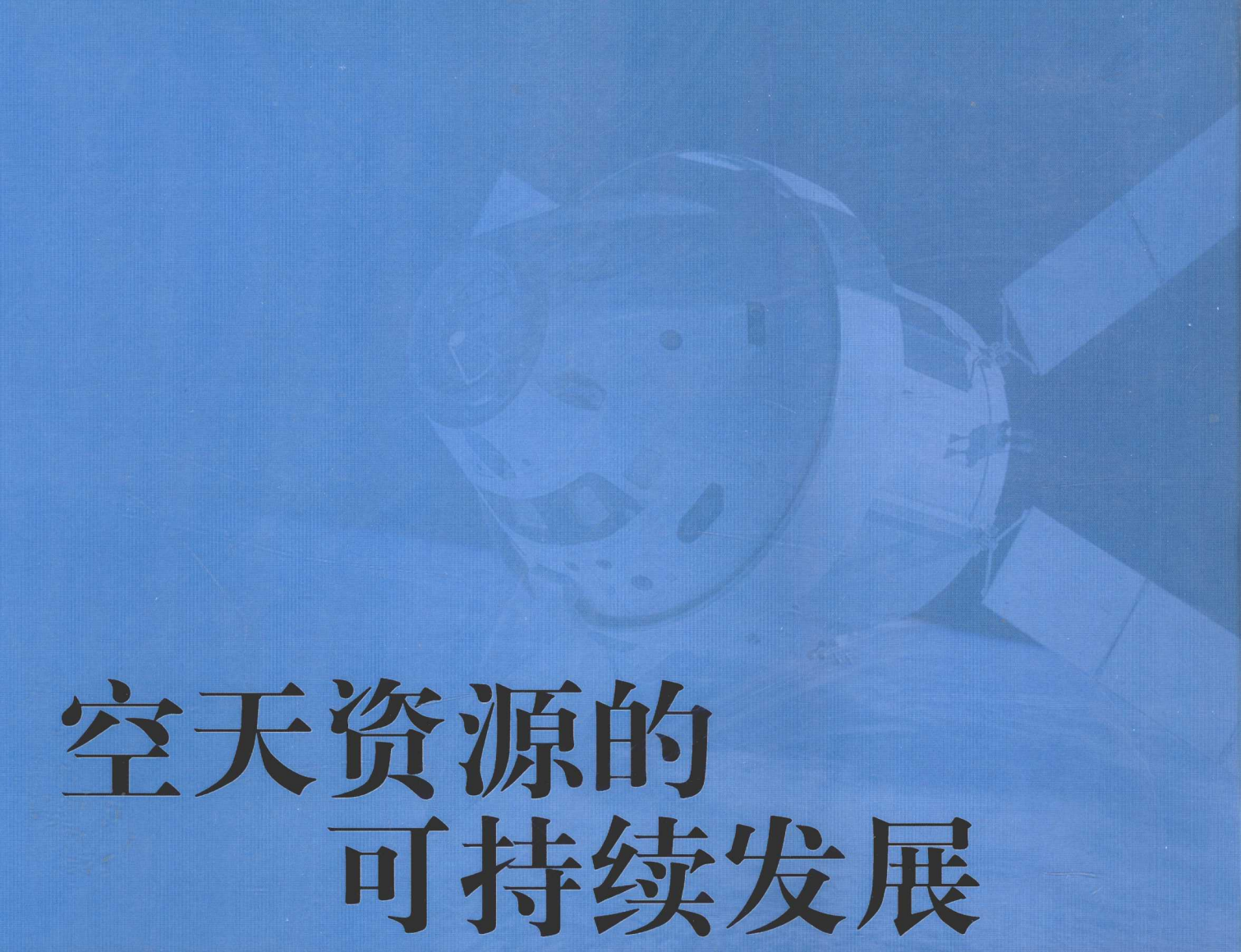




# 空天资源的 可持续发展

第一届中国空天安全会议论文集

王兆魁/主编



科学出版社



# 空天资源的可持续发展

——第一届中国空天安全会议论文集

王兆魁 主编

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

空天安全是指航空航天活动中的设施安全、环境安全、人员安全,具体涉及航空航天技术、信息技术、指挥与控制技术、法律法规等诸多领域,空天安全研究对空天资源的和平利用和可持续发展具有重要意义。第一届中国空天安全会议于2015年8月在山东烟台成功召开。本书为第一届中国空天安全会议论文集,内容涵盖了空间目标跟踪与监视、空间交通安全管理与平行控制、空间碎片演化分析与减缓控制、空天飞行器智能控制、空天系统体系仿真与控制、空天系统测控与发射、航空安全监控技术。

本书可供从事空天安全研究与教学的专家、教师,以及研究生学习与参考。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

空天资源的可持续发展:第一届中国空天安全会议论文集/王兆魁主编.—北京:科学出版社,2015.11

ISBN 978-7-03-046433-0

I. ①空… II. ①王… III. ①航空安全-中国-文集 ②航天安全-中国-文集 IV. ①V328-53 ②V528-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第277573号

---

责任编辑:裴 威 / 责任校对:彭珍珍 贾娜娜

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:无极书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2015年11月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015年11月第一次印刷 印张:38 3/4

字数:1 291 000

定价:298.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 编 委

孙富春 刘 泳 孙国江 吴志刚

张世杰 沈如松 李麦亮 张锦绣

康志宇 项军华 李 昊



## 序

人类对太空的探索与开发，使太空的轨道位置、微重力、真空、太阳能逐渐具有了资源属性。太空资源成为继陆地、海洋自然资源之后的新型战略资源，对人类政治、经济生活产生了全面而深刻的影响。由太空开发所催生的技术飞跃和产业革命呼之欲出。太空资源的和平、有序、可持续发展逐渐成为共识。

太空飞行器在轨道的驻留依赖于轨道运动离心力和地心引力的平衡，这一物理属性决定了太空飞行器的运动空间无法限定在任何国家的国土范围内；由于历史原因，太空飞行器的运行控制也没有形成有效统一的管理机制。随着太空资源越来越紧张，在太空中飞行的各类航天器也如同在城市中穿梭的车辆，面临着日趋拥挤的交通和潜在的碰撞威胁。除了正常运行、受人类控制的航天器外，航天发射中的废弃物、被地球引力俘获的流星体、碰撞或解体事件产生的空间碎片、寿命终结的航天器等也充斥在太空交通环境中。2009年，俄罗斯废弃的军用电子通信卫星“宇宙-2251”与美国铱星-33相撞，产生了大量碎片，这次事故凸显了航天器无序运行给太空资源可持续发展带来的挑战。

太空资源是人类共同财富，维护太空资源的可持续发展是人类共同责任。实现太空交通的安全管理和有序控制需要多个层面的努力，如政府间的协调、机构间的数据共享、相关基础设施的建设等，但对太空安全问题的研究是必不可少的基础。太空安全问题涉及空间物理学、航天学、管理学、控制论以及法律、经济等领域的基础理论和前沿技术，是一个崭新的研究领域，需要学术界付出艰辛不懈的努力。

2015年8月，中国指挥控制学会空天安全平行系统专业委员会组织召开了第一届中国空天安全会议，邀请了学术界、工业界的广泛代表，就空天安全问题集中交流与研讨。会议内容涵盖了空间目标跟踪与监视、空间交通安全管理、航天器在轨操控与机动控制、空间智能集群自组织控制、航空安全监控等多个领域，集中体现了我国学者在这些问题上的学术见解和研究成果。为了更好地推进我国空间安全问题研究，会议精选了108篇论文结集出版。

我们相信，该文集的出版将成为我国空天安全问题研究的一个里程碑，必将更好地推动太空安全领域的学术研究和相关规则制定，为实现文明有序的太空交通作出我国学者应有的贡献。

张育林

2015年11月

# 目 录

## 空间目标跟踪与监视

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 基于全局和部件特征融合的空间非合作目标识别 .....     | 3  |
| 基于运动信息的视频图像空间目标检测 .....         | 8  |
| 空间环境与空间目标编目 .....               | 12 |
| 空间碎片天基光学探测与识别方法 .....           | 21 |
| 空间目标跟踪与监视系统对目标定位及星座构型分析研究 ..... | 28 |
| 基于改进粒子滤波的多传感器融合空间目标跟踪 .....     | 33 |
| 基于微小卫星的空间目标光学探测定位方法研究 .....     | 39 |
| 基于星敏感器的天基空间目标监视构想 .....         | 47 |
| 美国高轨目标监视能力建设发展现状 .....          | 52 |
| 面向空间目标监控的数据仓库应用初探 .....         | 58 |
| 天基低轨空间碎片探测总体技术初步研究 .....        | 65 |
| 低分辨率视频中空间目标特征计算方法研究 .....       | 70 |

## 空间交通安全管理与平行控制

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 空间交通管理研究现状与分析 .....               | 77  |
| 编队卫星快速解析碰撞预警方法研究 .....            | 83  |
| 俄罗斯军事航天力量发展研究 .....               | 89  |
| 基于最优速度倾角约束的单星预警算法 .....           | 95  |
| 军事航天技术发展动向及对未来作战的影响 .....         | 101 |
| 卫星网络安全协议及防护机制探讨 .....             | 106 |
| 一种实用的遥感卫星空间碎片规避机动方法 .....         | 110 |
| 太空作战指挥训练评估研究 .....                | 115 |
| 美国空间力量发展对我国空间安全的影响 .....          | 121 |
| 基于多重筛选方法的空间目标碰撞预警快速算法研究 .....     | 126 |
| 美军太空力量发展及其启示 .....                | 132 |
| 基于 Agent 天基信息应用效能评估方法研究 .....     | 137 |
| 基于格网的 BDS 导航系统全球服务性能评估 .....      | 143 |
| 基于聚类 LSSVM 模型的疲劳裂纹增长分析 .....      | 147 |
| 信息知识层外挂的分层 Agent 模型框架及其建模方法 ..... | 153 |
| 航天器往返中赔偿问题的法律应用研究 .....           | 159 |
| 浅析《外层空间法》中的损害赔偿主体问题 .....         | 162 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 基于 ACP 的网络舆情仿真 ..... | 167 |
|----------------------|-----|

## 空间碎片演化分析与减缓控制

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 地基激光器清理空间碎片的部署研究 .....      | 175 |
| 高面质比空间目标及其群体特性研究 .....      | 181 |
| 基于微小卫星绳网编队的空间碎片减缓技术研究 ..... | 189 |
| 空间碎片主动清除技术综述 .....          | 196 |
| 面向空间碎片减缓工程的测控技术研究 .....     | 204 |
| 针对空间碎片捕获的绕飞轨道设计 .....       | 208 |

## 空天飞行器智能控制

|                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 编队构型燃料最优可重构部署轨迹规划方法研究 .....                                                                       | 215 |
| 从“凤凰计划”看制天权争夺 .....                                                                               | 222 |
| 基于椭圆空腔虚拟势场的航天器集群控制方法 .....                                                                        | 227 |
| 基于无线网络的集群航天器控制系统重构技术研究 .....                                                                      | 233 |
| 基于蚁群算法的多 UAV 协同侦察任务规划模型及求解 .....                                                                  | 239 |
| 集群航天器近距离操作自主防撞控制方法研究 .....                                                                        | 246 |
| 视角在趋同集群运动中的影响 .....                                                                               | 252 |
| 卫星集群长期相伴飞行的初始条件研究 .....                                                                           | 256 |
| 一种基于一致性理论的卫星协同自主探测方法 .....                                                                        | 262 |
| Combination Controller Parameter Optimal Approach for the Retired Spacecraft after Captured ..... | 270 |
| Dynamics and Numerical Simulation of Space Walking Robot .....                                    | 277 |
| 基于 VSCMG 的卫星动态扫描成像姿态控制研究 .....                                                                    | 284 |
| 基于气象预测模型的低空规划航迹修正方法 .....                                                                         | 290 |
| 利用绳系太阳帆减缓小行星自转的技术研究 .....                                                                         | 297 |
| 挠性航天器飞轮转速过零时的模糊自抗扰控制 .....                                                                        | 301 |
| 沿目标飞行器轮廓表面巡视绕飞时的路径规划与控制技术研究 .....                                                                 | 307 |
| 月表着陆器-巡行器通信链路近距比相测角算法研究 .....                                                                     | 315 |
| 航天器在轨故障诊断的非单调推理方法初探 .....                                                                         | 321 |
| 仅使用单目视觉的航天器自主逼近控制仿真 .....                                                                         | 326 |
| 基于 EMD 的轨道异常检测及分析 .....                                                                           | 332 |
| 基于 TLE 数据的航天器轨道异常检测 .....                                                                         | 338 |
| 基于纯磁控的等惯量立方星速率阻尼方法研究 .....                                                                        | 344 |
| 基于微分几何理论的航天器姿态跟踪控制 .....                                                                          | 349 |
| 空间机动目标的可达域计算 .....                                                                                | 354 |
| 空间机械臂相机的最优拍照方案探究 .....                                                                            | 361 |
| 快速重访卫星轨道特性及优化设计研究 .....                                                                           | 366 |
| 面向任务规划与总体性能的空间机动飞行器仿真系统研究 .....                                                                   | 372 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 挠性空间机械臂伪速率增量反馈控制研究分析 .....   | 382 |
| 一种基于地面等效仿真的航天器在轨控制方法 .....   | 387 |
| 入轨段星箭天线指向实时计算方法 .....        | 392 |
| 应用于离轨任务的裸线阳极电力绳系系统效能分析 ..... | 398 |
| 卫星自主避险姿态快速机动与高精度稳定控制 .....   | 403 |

## 空天系统体系仿真与控制

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 飞行遥测修正现场任务推演仿真系统 .....               | 411 |
| 惯导数据的仿真方法及验证方法研究 .....               | 419 |
| 航天员-MMU 耦合系统动力学建模与分析 .....           | 426 |
| 体系安全性研究进展 .....                      | 432 |
| 基于精密轨道模型的轨道协方差演化 .....               | 440 |
| 空间旋转飞网机构设计与碰撞仿真分析 .....              | 448 |
| 面向机动飞行器的全数字平行任务仿真系统研究 .....          | 455 |
| 天基快速响应体系的虚拟演示系统研究 .....              | 461 |
| 微波探测有效载荷实战化可靠性在轨评估技术研究 .....         | 468 |
| 基于 Agent 建模仿真的航天发射末段海上测控布站优化研究 ..... | 472 |

## 空天系统测控与发射

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 北斗卫星导航系统空间段在轨安全形势分析 .....          | 483 |
| 船载单脉冲雷达接力测量工况设计方法 .....            | 486 |
| 国外航天测控技术新进展及关键技术研究 .....           | 491 |
| 基于 Hilbert-Huang 变换的船摇预测方法研究 ..... | 496 |
| 基于 SDLS 协议的空间数据安全防护 .....          | 499 |
| 基于 X 射线脉冲星的导航仿真系统研究 .....          | 505 |
| 结合聚类分析的中值滤波弹道融合技术 .....            | 511 |
| 空地多平台机动自主探测系统设计与应用 .....           | 516 |
| 面向 PHM 的航天器测试优化选择 .....            | 522 |
| 目标激光散射动态特性测试系统 .....               | 526 |
| 天基外辐射源雷达地杂波抑制技术研究 .....            | 531 |
| 下一代机载网络技术评述 .....                  | 535 |
| 一种用于航天器推进剂的可视化安全检测技术 .....         | 543 |
| 基于最小二乘和最速梯度准则的船摇数据自适应滤波算法 .....    | 548 |

## 航空安全监控技术

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 保护目标和超越国境必炸线安控管道实时化的设想 ..... | 555 |
| 多现场空管设备远程状态监视与维修支援系统 .....   | 559 |



飞机跨声速飞行安全性分析 ..... 565

基于 Bow-Tie 模型的航空事故分析及适航条款生成方法 ..... 571

基于故障的航空发动机监控研究 ..... 576

基于军民航兼容数据通信的发动机实时监控研究 ..... 581

基于云计算的航空维修安全预警系统设计 ..... 586

基于云重心法的复杂电磁环境下海军航空兵信息化作战能力评估 ..... 590

基于综合安全指数的航空安全实时预警研究 ..... 595

天基信息系统在航空安全监控中的应用模式研究 ..... 600

舰载星基相对差分导航系统完好性监视技术研究 ..... 605

# 空间目标跟踪与监视





# 基于全局和部件特征融合的空间非合作目标识别

唐 侃 邹 波

(上海无线电设备研究所, 上海, 200090)

**摘要** 近距离可见光图像的空间非合作目标(主要指卫星)识别与几何参数反演受目标相对姿态影响。提出了一种新的基于全局和部件特征融合的空间非合作目标识别方法, 采用迭代匹配的方式提取卫星目标矩形面特征区域, 根据全局和特征区域在连续帧图像中的形变情况反演部件几何参数和相对位姿信息, 提高目标识别的准确性。

**关键词** 非合作空间目标; 部件模型; 姿态反演

## Non-Cooperative Objects Recognition Based on Fusing Local Feature with Integer Structure

Tang Kan Zou Bo

(Shanghai Radio Equipment Research Institute, Shanghai, 200090)

**Abstract** Non-Cooperative Spacecrafts Recognition and geometry parameters extraction based close range optical image is affected by relative pose between targets and camera. A new method fusing Local Feature with Integer Structure is proposed. Single rectangular plane of the target are extracted by way of iteratively matching. The deformation of the rectangular plane and integer object are utilized for geometrical inversion and poses estimation to improve the performance of recognition.

**Keywords** Non-Cooperative Spacecrafts, Part model, relative Attitude Estimation

## 引言

对空间目标的探测、跟踪与识别是未来空间监测系统应具备的重要功能之一, 其任务是对重要空间目标进行精确探测和跟踪, 确定可能对航天系统构成威胁的航天器的任务、尺寸、形状和轨道参数等重要目标特性; 对目标特性数据进行归类 and 分发。其性能优劣对空间系统性能的发挥具有重要的影响。

卫星所处的空间环境比较空旷, 没有杂波的干扰, 光学成像敏感器能够在近距离对目标成像得到包含丰富的几何形状基元的卫星目标高分辨率图像。通过图像信息处理, 能够提取这些几何形状基元, 反演卫星的几何参数和结构特征。卫星通常为圆柱形、长方体形等对称性结构, 准确提取卫星目标的长、宽、高等几何信息是进行空间目标识别的重要依据。然而, 图像中的空间目标大小、形状都

随目标的姿态和运动特性变化而变化, 这就使得提取目标的几何参数的可靠性降低, 影响对目标的归类和识别。特别是对非合作目标, 它们的运动情况和空间结构完全未知或部分未知。因此, 非合作空间目标的识别一直是个难题。

德国宇航局正在开展的TECSAS项目能够实现复杂的非合作目标识别<sup>[1]</sup>。由于国外识别技术保护, 关于空间非合作目标的识别方法文献不多。常见的非合作目标的识别方法有: ①模型匹配法, 根据实际卫星建立模型, 再将卫星图像与模型进行匹配, 确定目标类型<sup>[2]</sup>, 如Inaba等<sup>[3]</sup>提出的非合作目标的识别与捕获方法, 但需要预先知道目标的外形、尺寸及质量; ②立体视觉法, 用双目视觉测量系统拍摄目标物体, 利用2幅图像的图像坐标和两相机之间的关系进行三维重构。

张庆君等<sup>[4]</sup>提出一种基于双目视觉的航天器间相对位置参数测量方法,该方法需要预先在目标航天器上设置多个位置和尺寸已知的特征点,其测量结果取决于特征点的定位精度。徐文福等<sup>[5]</sup>提出一种基于双目立体视觉的位姿测量方法,该方法以航天器的太阳帆板支架作为识别对象,利用立体视觉进行三维重构得到各点在世界坐标系中的坐标,从而获得目标坐标系相对于世界坐标系的位置和姿态;③图像流法,利用单目视觉拍摄的多幅图像来进行位姿测量,需要一定的先验知识,在求解位置和姿态参数时,涉及到非线性方程组的求解,计算量大,且不易收敛。如Miravel<sup>[6]</sup>提出的基于图像的在轨卫星自主交会算法,通过单目相机获得目标航天器的质心位置和方位角信息来实现交会阶段的相对导航。张世杰等<sup>[7]</sup>提出的一种采用光学合作特征的位姿测量方法,利用单个相机完成非合作航天器间相对位姿参数的测量,但是假设目标的形状及几何尺寸已知,而且问题的求解依赖于迭代的方法,过程较复杂。

相比双目视觉系统或多源融合系统,单目视觉系统配置简单、易于标定。本文主要研究基于单目视觉的近距离非合作空间目标(卫星目标)识别。针对非合作目标姿态引起图像几何变形问题,本文提出了一种新的基于全局和部件特征融合的空间非合作目标识别方法。

## 1 空间非合作目标识别方法

### 1.1 空间投影变换

本文取小孔成像投影模型为摄像机的几何模型。如图 1 所示,空间目标处于世界坐标系  $[x_w, y_w, z_w]$ , 摄像机坐标系为  $[x_c, y_c, z_c]$ , 图像物理坐标系为  $[x, y]$ ,  $f$  为焦距。空间目标上某点在图像物理坐标系的表示为

$$z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ t \\ o_3^T \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

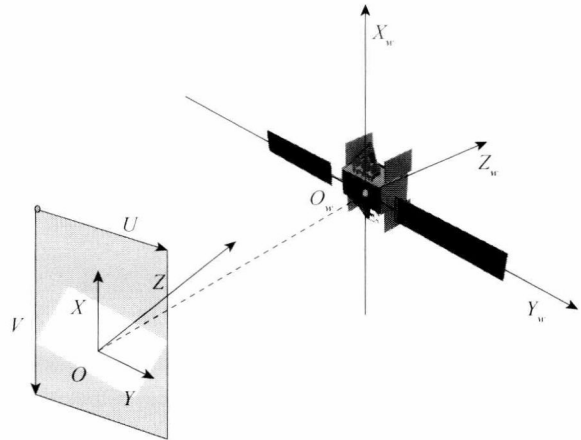


图 1 目标与相机成像模型

### 1.2 部件模型

卫星作为典型人造目标具有显著的结构特性和可分解的结构部件,如空间站和卫星的主体主要由棱柱体、立方体或正八面体等几何形状组成,太阳能帆板一般是分布在主体侧边或底部的长方体结构。相比整体,部件结构简单,易于参数化描述其在三维空间中的形态。并且,构建部件结构以及部件之间的空间关系模型来描述目标的类型,对形变、姿态等变化不太敏感,对于部件遮挡有较强的处理能力,更适合空间非合作目标的识别。

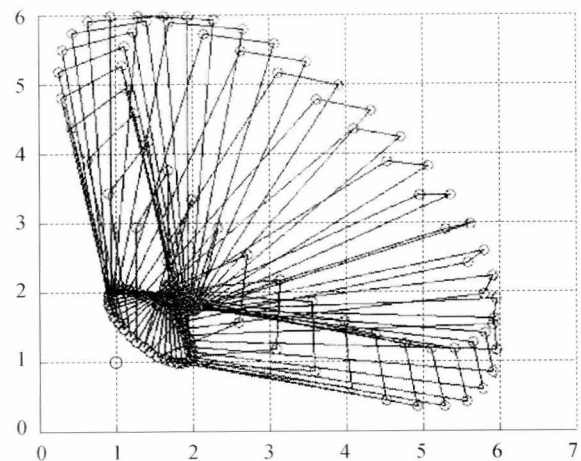


图 2 空间矩形平面在图像上的旋转投影

本文根据目前大部分卫星的主体为立方体并安装有矩形的太阳能电池板的特点,将矩平面作为部件特征。从任何角度观测,目标卫星上至少能观测到有一个完整矩形面。针对这一前提条



件,从图像上提取矩形面部件。由于目标相对于相机的姿态是不确定的,矩形在图像上会发生形变,图像中反映出的形态不再是矩形。如图 2 所示,同一矩形平面在空间以一方向量为轴旋转时,在图像平面的投影为不同尺寸和夹角的平行四边形。假设目标中心相对摄影中心不变(没有平移),目标旋转  $360^\circ$ ,部件平行四边形的顶点构成椭圆。如果有多帧处于旋转状态的非合作卫星图像,通过提取序列图像中的部件平行四边形的顶点,拟合成椭圆,就能够预测部件在各个旋转角度的图像投影位置。卫星以空间任意转轴旋转时,其矩形部件在某一观测角度下的图像形态一定是矩形,当部件图像形态为矩形时,从图像中提取的尺寸信息至少有一维能够反映目标部件的真实尺寸。因此,序列帧旋转卫星目标图像中提取目标几何信息能够克服单帧图像的形变问题。

### 1.3 基于匹配函数的部件提取算法

提取部件特征即提取图像中的平行四边形,首先,对单目相机拍摄的图像进行处理,用 Canny 边缘检测提取出边界;再利用基于 Hough 变换获得边界的直线方程,由于三维立方体投射到二维图像平面,各边界之间的共面关系很难确定,直接图像部件特征提取难度较大且提取精度较低;在本文中,特征的提取是基于迭代匹配,建立合适的匹配函数将提取问题转化为特征模型的参数优化问题,匹配函数包括描述边界的匹配度函数和描述区域灰度一致性的匹配度函数,再将二者结合起来得到特征模型与图像的整体匹配度函数。

#### (1) 基于边界相关性的匹配函数

$$F_e = \frac{\sum_{(m,n) \in P_e} f(m,n)}{N(P)} \quad (2)$$

其中  $f$  表示检测到的目标二值边缘图像,其中取值为 1 的像素为检测到的边缘像素,取值为 0 的像素为背景像素。 $(m,n) \in P_e$  表示在一次迭代中预测的四边形特征  $P$  的边界像素的图像点坐标,  $N(P_e)$  表示  $P$  的边界像素的总数。理想情况下,当  $P$  与图像特征区域的形状一致时,最

大为 1。

#### (2) 基于区域一致性的匹配函数

$$F_r = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 |\bar{u}_{ip} - \bar{u}_p|^2 - \sigma_p^2 \quad (3)$$

其中  $\sigma_p$  表示预测平行四边形  $P$  所包含区域内的灰度方差,  $\sigma_p$  越小表示  $P$  内部的灰度一致性更好。 $\bar{u}_p$  是  $P$  所包含区域内的灰度均值,  $\bar{u}_{ip}$  是任意一个条带的灰度均值。当  $P$  与实际特征区域吻合时,  $|\bar{u}_{ip} - \bar{u}_p|$  的值最大,相反,如果两者匹配错位,  $F_r$  的值也会减小。

#### (3) 整体匹配函数

$$F(P) = \gamma_e F_e + \gamma_r F_r \quad (4)$$

其中式 (3) 的前半部分表示边界匹配度,后半部分表示区域匹配度。 $\gamma_e$  和  $\gamma_r$  分别是  $F_e$  和  $F_r$  的权重,用于调整各自的比重。

提取平行四边形的方法采用特征假设与图像迭代匹配的方式,在参数空间内,不断调整平行四边形参数  $X$  生成一系列平行四边形假设  $P(X)$ ,将  $P(X)$  与实际图像相匹配,使匹配度函数  $F$  取得最高值的假设的参数作为提取的特征平行四边形参数

$$\hat{X} = \arg \max_X F(P(X)) \quad (5)$$

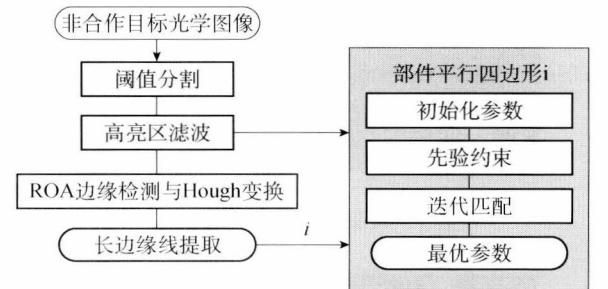


图3 基于匹配平面部件提取流程

### 1.4 部件信息与主体融合

在本文中,假定待识别的非合作目标为自旋卫星,目标的旋转矢量在惯性坐标系下是围绕一个近似于椭圆的锥上运动。从主体来说,目标质心位于旋转轴上,因此,其在图像上的投影位置基本不变,如图 2 中的  $[1, 1]$  点。对于矩平面部件来说,不同的顶点围绕一个近似于椭圆的锥上

运动。旋转到不同的角度，矩平面投影为不同角度和边长的平行四边形。将一段时间内积累的多帧目标图像重叠在同一图像坐标系中，通过提取不变位置，即可知道其质心或旋转轴上点的位置。从图像序列中提取同一矩平面部件，获得顶点的椭圆轨迹，结合质心位置求解三维转动惯量。在获得转动惯量后就可以预测出矩平面的图像投影为矩形时的顶点的图像位置，得到部件无形变时的几何参数。

2 实验

由于缺少实测序列卫星图像数据，本文只进行了不同姿态下卫星部件目标提取实验和部件形变角计算。验证了部件特征的适用性。下一步获得自旋卫星序列图像可以开展部件与整体结合的旋转姿态估计和几何参数反演，完整验证本文所提的方法。图 4 为卫星不同姿态的卫星仿真图像，第一行图像中卫星出于特殊姿态，矩平面至少有一个维度在图像中没有形变，第二行图像中卫星的矩平面均已投影为平行四边形。图 5 为提取部件特征的结果。

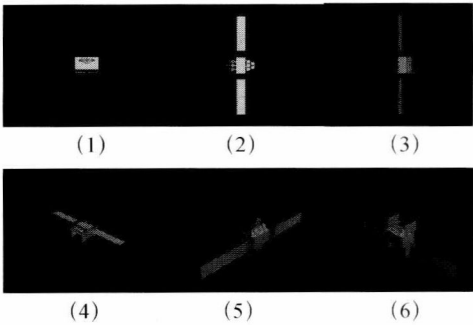


图 4 不同姿态卫星仿真图像

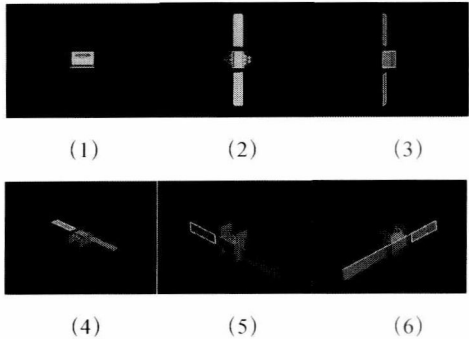


图 5 卫星部件特征提取结果

表 1 为从卫星部件特征中提取的几何参数，相同目标相同部件在不同姿态下提取的边长尺寸差别较大，单帧图像能提供的几何信息需要经过修正才能作为识别的依据。

表 1 卫星部件特征

| 图号 | 边长 1     | 边长 2    | 夹角/度    |
|----|----------|---------|---------|
| 1  | 130      | 0       | 0       |
| 2  | 130      | 36.0555 | 90      |
| 3  | 129      | 5       | 90      |
| 4  | 82.7647  | 27.8927 | 25.0169 |
| 5  | 115.4123 | 40.1995 | 27.8973 |
| 6  | 114.5295 | 38.0132 | 28.1313 |

3 结论

针对近距离可见光图像，研究基于全局和部件特征融合的空间非合作目标识别方法。建立描述不同位姿的目标矩形部件形变特性；重点采用图像处理方法迭代匹配提取目标部件，并提出了通过多帧部件特征反演几何参数和相对位姿参数修正全局参数以实现非合作空间目标的准确描述的思路步骤。

参考文献：

[1] Landzettel K. Technology satellite for demonstration and verification of space systems [EB/OL]. [http://www.Dlr.de/rm-neu/en/desktopd-efault.aspx/tabid-3825/5963\\_read-8759/](http://www.Dlr.de/rm-neu/en/desktopd-efault.aspx/tabid-3825/5963_read-8759/), 2009-09-11.

[2] Kelsey J M, Byrne J. Vision-based relative pose estimation for autonomous rendezvous and docking [R]. IEEEAC, 2002 0-7803-9546-8/06:1-11.

[3] Inaba N, Odam, Asano M. Rescuing a stranded satellite in space experimental robotic capture of non cooperative satellite[J]. Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences. 2006, 48 (162): 213-220.

[4] 张庆君, 胡修林, 叶斌, 等. 基于双目视觉的航天器间相对位置和姿态的测量方法 [J]. 宇航学报, 2008, 29 (1) : 156-161.

[5] 徐文福, 梁斌, 李成, 等. 空间机器人捕获非合作目标的测量与规划方法 [J]. 机器人, 2010, 32 (1) :

61-69.

[6] Miravet C, Pascual L, Krouch E, et al. An imagebased-sensor system for autonomous rendezvous with uncooperative satellites[C]//The 7th International ESA Conferenceon

Guidance, Navigation & Control Systems, 2008.

[7] 张世杰, 曹喜滨, 陈闽. 非合作航天器间相对位姿的单目视觉确定算法 [J]. 南京理工大学学报: 自然科学版, 2006, (5): 564-568. 30

# 基于运动信息的视频图像空间目标检测

张学阳<sup>1</sup> 项军华<sup>2</sup> 王兆魁<sup>3</sup>

(1, 2 国防科学技术大学航天科学与工程学院, 长沙, 410073)

(3 清华大学航天航空学院, 北京, 100084)

**摘要** 针对卫星拍摄的以深空为背景的视频图像中空间运动目标的检测问题进行了研究, 提出了一种基于运动信息的目标检测算法。首先通过均值滤波对图像进行降噪处理, 然后采用基于局部统计的可变阈值来分割单帧图像, 使用灰度重心法计算像点坐标。当卫星凝视目标区域时, 恒星可以认为是静止的, 而目标依旧在运动, 基于此可检测出空间运动目标。基于某型卫星在轨拍摄的视频图像验证了算法的有效性。

**关键词** 空间目标检测; 小目标检测; 目标运动信息; 局部可变阈值; 视频图像

## Space Target Detection in Video Based on Motion Information

Zhang Xueyang Xiang Junhua Wang Zhaokui

(College of Aerospace Science and Technology, NUDT, Changsha 410073)

(College of Aerospace, Tsinghua University, Beijing 100084)

**Abstract** A space target detection algorithm in video with star image background from video satellite is researched, which is based on motion information. Firstly, average filter is used to decrease noise. Then a single frame image is segmented using variable thresholding based on local image properties. When video satellite is staring interested area, stars in FOV can be thought static and the target is moving. So space target can be detected by motion information. Experimental results about video from satellite demonstrate the effectiveness of the algorithm.

**Keywords** space target detection; small target detection; target motion information; local variable thresholding

## 引言

卫星通过姿态机动控制可以实现对某一兴趣区域进行“凝视”观测, 获取目标区域连续的视频图像信息。视频图像比静止单幅图像包含更多信息, 能够探测到动态事件的发生, 并可以基于视频图像中的序列图像进行图像重构获得更高分辨率的图像, 为抗灾救灾、战时监控、计划决策提供第一手资料<sup>[1]</sup>。

为此, 许多国家投入大量资金和科技人员对该类卫星进行了广泛研究, 国内外已发射了多颗具有视频成像功能的卫星。如 SKYBOX 公司的 Skysat 系列卫星、德国柏林理工大学的 TUBSAT 系列卫星, 印度尼西亚研制的 LAPAN 系列卫星, 以及国防科技大学研制的天拓二号卫星, 这些卫

星可以在轨获取不同性能的视频图像。

卫星对空间运动目标的观测, 例如小卫星等, 可以为卫星健康判断、太空安全监测等提供重要依据。由于天基平台的不稳定性, 即使是凝视观测, 背景和相机也会发生相对运动, 无法通过简单的帧差法得到运动目标, 造成了目标检测的困难。

针对此问题, 文献[2]提出了一种序列星图中目标运动轨迹的提取算法, 利用序列图像中最亮的一组星点的质心进行图像匹配, 滤除背景恒星, 提取目标运动轨迹。文献<sup>[3]</sup>提出了一种基于星图识别的空间目标检测算法, 利用三角形算法进行探测图像序列的配准, 然后在配准后的图像序列中检测出空间目标。文献<sup>[4]</sup>提出了一种基于