

嫦娥六号着陆点高精度视觉定位

刘召芹¹, 彭嫚¹, 邸凯昌¹, 万文辉¹, 刘斌¹, 王晔昕¹, 谢彬^{1,2},
寇玉珂^{1,2}, 王彪^{1,2}, 赵晨旭^{1,2}, 张一凡^{1,2}

1. 中国科学院空天信息创新研究院 遥感与数字地球重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 嫦娥六号着陆点的精确定位对于工程任务顺利实施和科学研究至关重要。本文基于嫦娥二号正射影像、月球勘测轨道器窄角相机正射影像、嫦娥六号降落相机图像等数据, 利用图像仿真和特征匹配方法确定了嫦娥六号着陆点在嫦娥二号正射影像的精确位置为 (153.9780°W, 41.6252°S), 同时确定了在 LROC NAC 正射影像中的精确位置。嫦娥六号着陆点精确定位结果直接支持了工程任务的实施, 对于结合着陆区高精度地形和嫦娥六号样品深入开展着陆区科学研究具有重要支撑作用。

关键词: 遥感, 嫦娥六号, 视觉定位, 降落相机图像, 图像仿真, 图像匹配

中图分类号: P237/P2

引用格式: 刘召芹, 彭嫚, 邸凯昌, 万文辉, 刘斌, 王晔昕, 谢彬, 寇玉珂, 王彪, 赵晨旭, 张一凡. 2024. 嫦娥六号着陆点高精度视觉定位. 遥感学报, 28(6): 1648-1655

Liu Z Q, Peng M, Di K C, Wan W H, Liu B, Wang Y X, Xie B, Kou Y K, Wang B, Zhao C X and Zhang Y F. 2024. High-precision visual localization of the Chang'e-6 lander. National Remote Sensing Bulletin, 28(6): 1648-1655 [DOI:10.11834/jrs.20244229]

1 引言

嫦娥六号 (CE-6) 是探月工程四期的重要任务, 实现世界首次月球背面采样返回 (Li 等, 2019)。在地面测控和鹊桥二号中继星支持下, 嫦娥六号探测器已于 2024 年 5 月 3 日 17:27 发射, 并于 2024 年 6 月 2 日 06:23 在月球背面预选着陆区阿波罗盆地成功着陆, 采集月壤样品和岩石, 上升器携带样品于 6 月 4 日 07:38 起飞进入预定环月轨道。

CE-6 的着陆区位于南极—艾特肯 SPA (South Pole-Aitken) 盆地内的阿波罗盆地, SPA 盆地是月球上最大、最古老、最深的撞击盆地, 其形成过程挖掘暴露出月幔物质 (Melosh 等, 2017; 邸凯昌 等, 2022)。阿波罗盆地位于 SPA 盆地东北部, 其形成后又经历了多次火山玄武岩喷发和撞击改造 (Potter 等, 2018)。CE-6 着陆区位于阿波罗盆

地内的玄武岩区域, CE-6 任务钻取和表取采集的样品记录了该区域复杂的地质演化历史, 对于认识月球早期撞击历史、月球深部物质特性、月球正面背面二分性等重要科学问题具有重大意义 (Moriarty 等, 2021; Zeng 等, 2023)。

嫦娥六号着陆点的高精度定位对于工程实施极其重要。着陆点的精确位置是上升器从月球表面着陆器起飞的基本参数, 对上升器的发射方向、轨道注入参数以及上升器与轨道器—返回舱组合进行交会对接的实施具有重要作用。着陆点位置也是月球表面采样和现场勘测的基本参数。同时, 嫦娥六号在阿波罗盆地着陆点的精确位置也具有重要科学意义, 通过结合着陆器位置、高分辨率遥感影像和其他数据, 可分析岩石和土壤样品的来源, 并精化月球表面定年函数, 这将对月球科学多领域研究应用做出重要贡献。

中国的嫦娥三号、四号、五号任务主要利用

收稿日期: 2024-06-06; 预印本: 2024-06-15

基金项目: 国家重点研发计划 (编号: 2022YFF0503100)

第一作者简介: 刘召芹, 研究方向为行星遥感制图与导航定位。E-mail: liuzq@aircas.ac.cn

通信作者简介: 万文辉, 研究方向为深空探测遥感与运动平台导航定位。E-mail: wanwh@aircas.ac.cn

基于视觉的着陆定位方法实现着陆点定位。嫦娥三号、四号任务主要结合降落相机序列影像、着陆器高分辨率影像和数字高程模型产品进行定位(万文辉等, 2014; 贾阳等, 2014; 邸凯昌等, 2019a), 定位结果均是在探测器落月后数小时完成。嫦娥五号任务结合视觉定位和无线电测控方法实现了着陆点定位(Wang等, 2021)。由于嫦娥六号预着陆区位于月球背面南极—艾特肯盆地, 需要通过“鹊桥二号”中继星进行数据通信, 且嫦娥六号月面停留时间比嫦娥五号更短, 着陆点的快速精准定位面临新的挑战。

本文基于轨道器高分辨率影像、数字高程模型产品和嫦娥六号着陆器降落相机序列影像等, 设计了一种利用图像仿真和影像特征匹配等方法实现着陆点自动、快速定位方法, 并在嫦娥六号着陆点定位任务中得到了验证。中国科学院空天信息创新研究院行星遥感团队参加了CE-6遥操作任务, 利用本文方法确定了着陆点的精确位置, 同时完成了采样点评估, 支持了工程任务实施。本文主要介绍基于仿真影像的着陆点快速定位方法和CE-6着陆点精确定位结果。

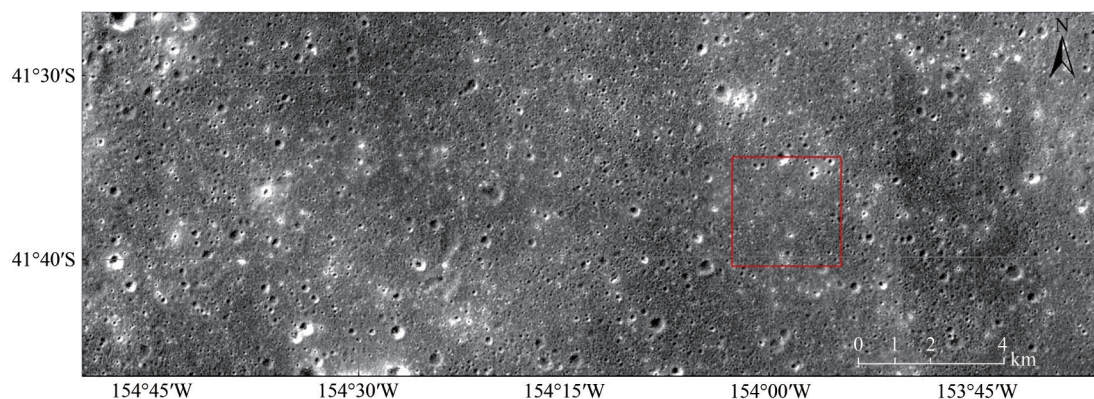
2 数据

进行着陆点的精准视觉定位, 需要月表广泛覆盖的、高分辨率的轨道器影像作为基准地图。目前, 中国嫦娥二号(CE-2)轨道器影像是覆盖整个月表的最高分辨率立体影像数据(李春来等, 2018; 邸凯昌等, 2019b), 基于此数据制作和公开发布了全月7 m分辨率数字正射影像图DOM(Digital Orthophoto Map)及20 m分辨率的数字高

程模型DEM(Digital Elevation Model)产品(李春来等, 2018)。此外, 美国月球勘测轨道器相机LROC(Lunar Reconnaissance Orbiter Camera)的窄角相机NAC(Narrow Angle Camera)对几乎全月进行了高分辨率成像, 其最高分辨率可达0.5 m(Robinson等, 2010)。本文以CE-2制作的20 m分辨率DEM、7 m分辨率DOM和利用LROC NAC影像制作的CE-6预选着陆区高分辨率DOM为基准进行着陆点定位。CE-2 DEM和DOM在中国月球与行星数据发布系统网站(<https://moon.bao.ac.cn/>[2024-06-06])下载, LROC NAC影像在行星数据系统PDS(Planetary Data System)网站(<https://ode.rsl.wustl.edu>[2024-06-06])下载。

高分辨率DOM是着陆点准确识别的关键。本文以CE-2 7 m分辨率DOM作为控制基准, 利用17幅LROC NAC影像制作了CE-6预选着陆区30×10 km范围1 m分辨率DOM(图1)作为仿真影像的数据源, 高程数据则采用CE-2 20 m分辨率DEM产品。同时, 为了利用LROC NAC影像原始的定位信息, 单独制作了5幅LROC NAC影像(ID见表1)的DOM, 用于定位验证。为了获取与NAC DOM上着陆点高程, 在PDS网站下载了与NAC平面位置一致的SLDEM2015(Barker等, 2016), 其分辨率在着陆点位置为45 m。

CE-6在着陆器底部以向下垂直视角安置了降落相机。降落相机以两种幅宽模式成像, 分别为2352像素×1728像素和1024像素×1024像素(Zhou等, 2022)。本文主要利用2352像素×1728像素的图像实现着陆点定位和着陆区制图。



(a) 预选着陆区CE-2 7 m分辨率DOM

(a) CE-2 DOM of 7 m resolution of the pre-selected landing area

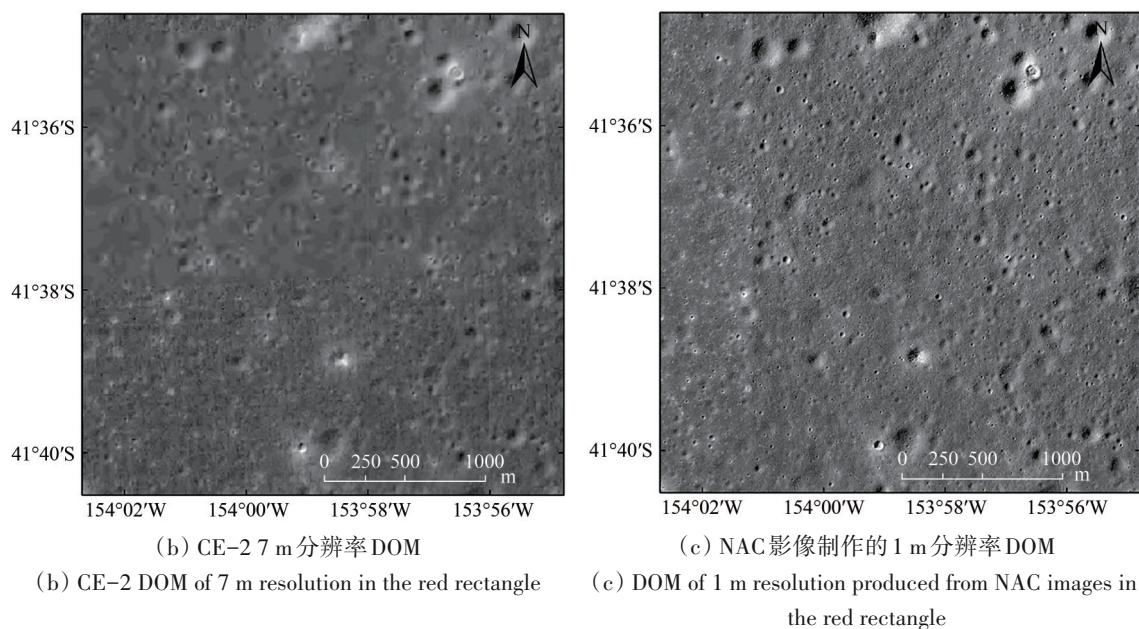
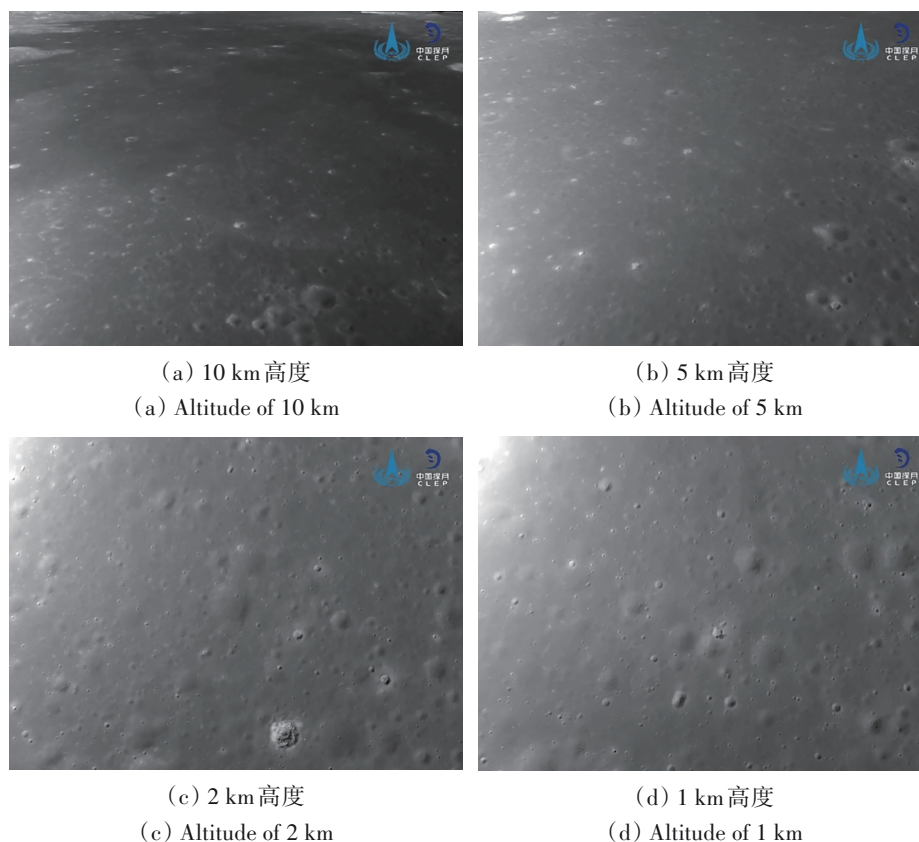


图1 预选着陆区DOM

Fig. 1 DOMs of the pre-selected landing area

如图2所示,图2(a) — (f)为CE-6降落相机分别在10 km、5 km、2 km、1 km、500 m和100 m高度拍摄的月面图像,器下点分辨率约为4.8 m至0.05 m不等,相机的俯仰角从60°变化至垂

直向下。本文所用降落相机影像数据从公开发布的CE-6着陆视频中获取(<https://www.cnsa.gov.cn/n6758823/n6758838/c10541660/content.html> [2024-06-06])。



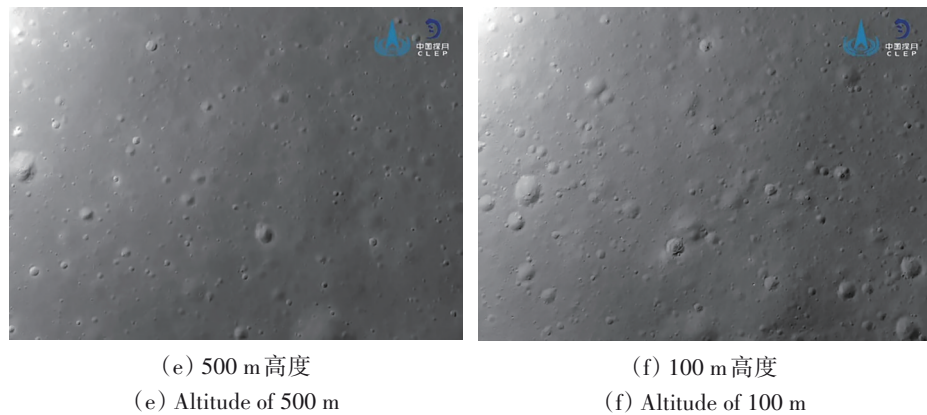


图2 CE-6降落相机不同高度成像

Fig. 2 CE-6 descent camera images acquired at different altitudes

3 着陆点定位方法

根据 CE-3、CE-4 和 CE-5 在着陆下降过程中获取的降落相机图像特点，下降过程中，着陆器的姿态由水平逐渐调整为垂直向下，在不同高度降落相机获取图像的视角不同，加上光照变化，难以直接利用降落相机图像和 CE-2 DOM 或 LROC NAC 底图进行匹配。为此，本文以 CE-2 制作的 20 m 分辨率 DEM、7 m 分辨率 DOM 构建数字月球三维仿真场景，将 LROC NAC 制作的 1 m 分辨率 CE-6 预选着陆区正射影像校正到 CE-2 DOM 上，加载到数字月球三维场景中，构建 CE-6 预选着陆区高精度数字三维模型场景。根据 CE-6 降落相机参数，参照 CE-5 号降落轨迹 (Wang 等, 2021) 和 CE-6 逆行轨道 (孟占峰, 2024; China Daily, 2024)，对预选着陆区进行降落相机仿真成像。定位时首先通过 CE-6 降落图像和仿真图像进行匹配，通过仿真图像获得基准后，再利用降落相机序列图像追踪实现对着陆点的定位，技术流程如图 3 所示。

3.1 着陆器降落图像仿真

着陆点定位是一个由粗到精不断精化的过程，由于无法实时获取降落相机成像时的真实位姿，只能根据推算位姿进行仿真。高度越高则成像分辨率越低，但地形及轨道姿态对影像匹配的影响越小，因此本文参照 CE-5 降落轨迹，在 CE-6 降落前提前从 10 km 高度对预选着陆区进行不同高度、不同轨道方向、不同姿态角的仿真成像，用于同 CE-6 降落相机图像进行匹配定位的基准图像。

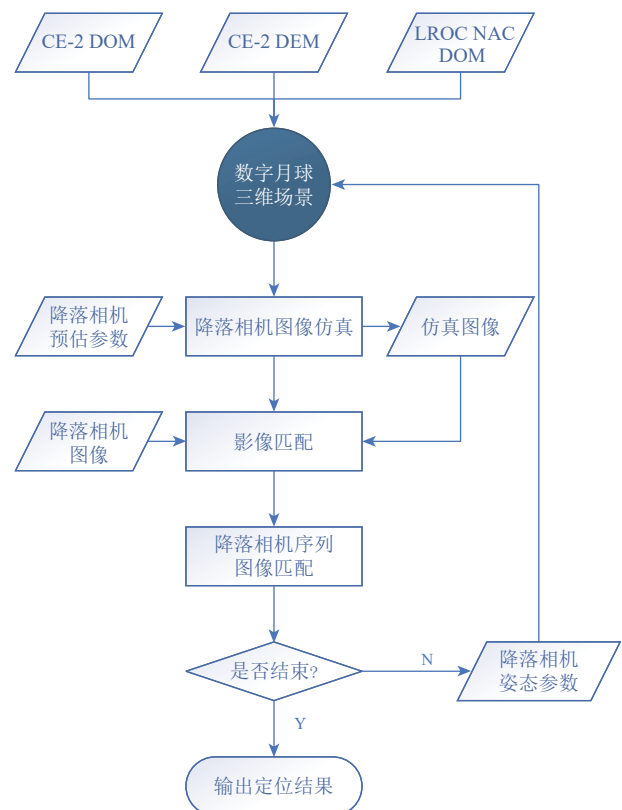


图3 嫦娥六号着陆点视觉定位流程

Fig. 3 Procedure of visual localization of the CE-6 lander

中国科学院空天信息创新研究院基于开源软件 OSG (Open Scene Graph) 三维图形渲染引擎、osgEarth 地理引擎构建了一套数字行星仿真系统 Photomap-3D，实现太阳系行星和部分天然卫星 (如月球) 的三维仿真。通过设置相机内方位 (幅宽、焦距、畸变参数)、外方位参数 (经度、纬度、高度、偏航角、滚动角和俯仰角) 及仿真 UTC (Coordinated Universal Time) 时间，即可实

现对 CE-6 降落相机图像的三维成像仿真。仿真图像的参数文件中存储了成像时的仿真参数和图像上 3×3 个三维控制点, 用于定位时的基准计算。如图 4 所示分别为对降落过程中 10 km、5 km、2 km、

1 km 高度对 CE-6 着陆区的仿真成像结果, 与图 2 中对应高度获取的实际降落图像 (图 2 (a) — (d)) 有较好的一致性, 为自动匹配定位奠定了基础。

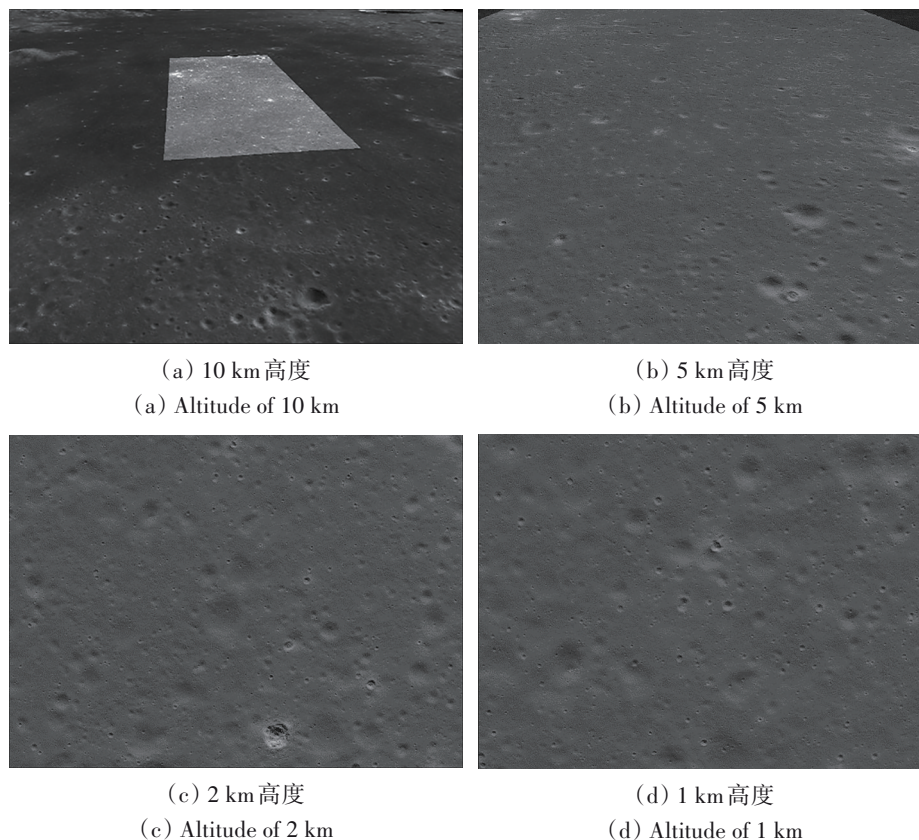


图 4 CE-6 着陆区不同高度的仿真影像

Fig. 4 Simulated images at different altitudes of CE-6 landing area

3.2 序列图像匹配定位

地面收到传回的降落相机图像后, 首先利用图像特征匹配方法, 将降落影像与事先仿真的多幅仿真图像进行匹配, 图 5 为 10 km 高度降落影像与仿真图像的匹配结果。基于匹配结果, 利用仿真图像生成实时位姿参数与控制点数据, 即可计算对应真实降落影像的位姿参数和投影变换参数, 进一步完成降落影像至底图的校正。以此配准的降落影像为基础, 对后续降落图像进行序列图像间的连续匹配, 图 6 为降落相机序列相邻影像间的匹配结果; 通过降落相机序列影像的连续匹配, 完成序列图像间的位姿参数传递。随着高度的降低, 影像分辨率逐渐提高, 考虑到初始定位误差、匹配传递误差影响, 根据降落相机高度每隔一定

帧数抽取序列图像中的一帧图像, 利用其位姿重新进行图像仿真和匹配, 通过新仿真图像的基准对降落图像位姿进行修正, 如此循环直到完成所有降落图像的序列匹配定位, 图 7 为一段序列影像间的匹配定位结果。

为精确定位着陆点, 应尽可能完成较低高度降落影像与仿真图像的匹配, 但考虑到 LROC NAC DOM 底图 1 m 分辨率的限制, 本文在低于 1 km 时 (影像分辨率约 0.5 m) 不再进行降落影像与仿真图像的匹配, 直接利用降落相机序列影像的匹配进行最终着陆点定位, 图 8 为降落前多张降落相机图像的连续匹配定位结果 (红色五角星为着陆点位置)。

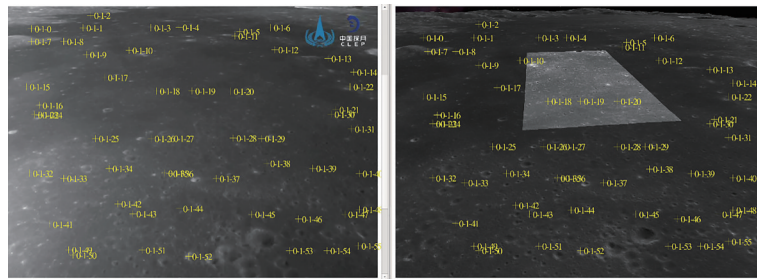


图5 10 km高度降落相机图像和仿真图像匹配

Fig. 5 Matching results of a descent camera image and a simulated image at 10 km altitude

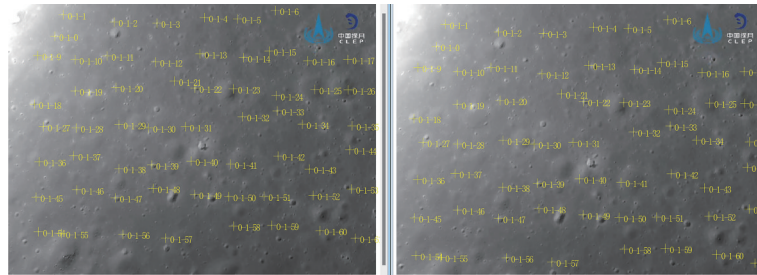


图6 降落相机序列相邻影像匹配

Fig. 6 Matching results of neighboring descent images

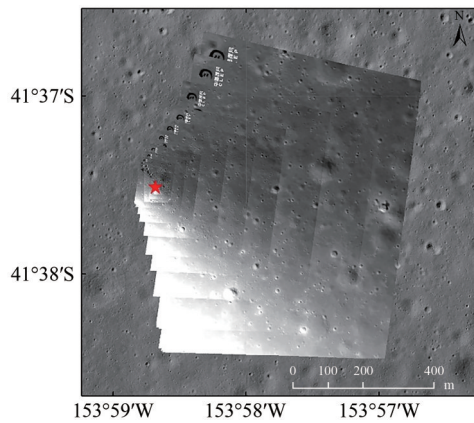


图7 降落相机序列图像匹配定位

Fig. 7 Localization results of sequence descent images matching

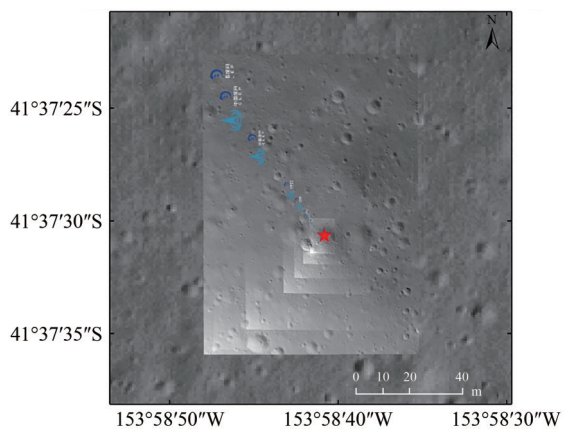


图8 序列图像匹配精定位

Fig. 8 Precision localization results of sequence descent images matching

4 视觉定位结果

利用本文方法得到的几何校正后的降落图像能够准确识别着陆点，实现在不同基准影像上快速定位，结果如表1。基于CE-2 DOM的着陆点定位结果为 $(153.9780^{\circ}\text{W}, 41.6252^{\circ}\text{S})$ 。由于通过轨道器的多次重复观测可以提高基于轨道器底图定位的精度(刘斌等, 2015)，表1给出了CE-6着陆点分别在5景NAC影像的定位结果及利用5景NAC影像的联合定位结果 $(153.9856^{\circ}\text{W}, 41.6383^{\circ}\text{S})$ 。NAC影像联合定位结果与CE-2 DOM定位结果经度差异为 0.0076° (172.27 m)，纬度差异是 0.0131° (397.24 m)，总偏差为432.98 m，CE-2和LRO定轨的不确定性和不一致性是造成定位偏差的主要原因。5景NAC影像的定位结果的最大经度差异为 0.0011° (24.93 m)，最大纬度差异为 0.0011° (33.36 m)，不同NAC影像的定位差异主要是由LRO的定轨不确定性造成的，偏差量级与Xie等(2024)对LRO轨道误差分析研究的结果一致。

基于上述定位结果，在CE-2 DEM和SLDEM2015中也确定了着陆点的高程分别为 -5273.6 m 和 -5255.5 m ，计算着陆点地形坡度分别为 7.5° 和 2.1° 。着陆点地形相对平坦，有利于月壤采样和上升器返回。

表1 CE-6 着陆点定位结果
Table 1 Visual localization results of CE-6 landing point

定位方式	经度/°E	纬度/°N
CE-2 DOM定位	-153.9780	-41.6252
NAC影像M166854798LE定位	-153.9855	-41.6384
NAC影像M1156412002RE定位	-153.9855	-41.6385
NAC影像M1232891941RE定位	-153.9856	-41.6376
NAC影像M1305784636RE定位	-153.9851	-41.6380
NAC影像M1400946505LE定位	-153.9862	-41.6387
上述5景NAC影像联合定位结果	-153.9856	-41.6383

5 结 论

本文介绍了结合轨道器影像底图和着陆器降落相机图像，利用影像匹配和特征匹配方法，实现了嫦娥六号着陆点的高精度定位。与嫦娥三号、四号和五号视觉定位方法相比，本文结合了仿真影像和着陆器降落相机图像，提高了定位效率和自动化水平。着陆点在CE-2 DOM底图上的精确位置为（153.9780°W，41.6252°S）。同时利用5景NAC影像的DOM进行了定位，平均定位位置为（153.9856°W，41.6383°S）。

嫦娥六号着陆点高精度定位，直接支撑了工程任务的实施，为采样后上升器起飞及与轨道器交会对接任务规划提供了关键信息。嫦娥六号着陆点的精确位置，可以为着陆区多源遥感数据的综合分析以及样品溯源提供重要支撑。仿真图像支持的着陆点视觉高精度定位技术，为后续着陆任务中着陆点的快速实时定位提供了可行的技术途径，具有重要的参考价值。

志 谢 衷心感谢北京航天飞行控制中心对本研究的支持，并感谢本研究中所用数据的生产 and 发布单位！

参考文献(References)

Barker M K, Mazarico E, Neumann G A, Zuber M T, Haruyama J and Smith D E. 2016. A new lunar digital elevation model from the Lunar Orbiter Laser Altimeter and SELENE Terrain Camera. *Icarus*, 273: 346-355 [DOI: 10.1016/j.icarus.2015.07.039]
China Daily. 2024. China launches Chang'e-6 to retrieve samples from moon's far side. <https://www.chinadailyhk.com/hk/article/582291#China-launches-Chang'e-6-to-retrieve-samples-from-moon's-far-side-2024-05-03>. [2024-06-01]

Di K C, Liu Z Q, Liu B, Wan W H, Peng M, Wang Y X, Gou S, Yue Z Y, Xin X, Jia M N and Niu S L. 2019a. Chang'e-4 lander localization based on multi-source data. *Journal of Remote Sensing (in Chinese)*, 23(1): 177-184 (邸凯昌, 刘召芹, 刘斌, 王文辉, 彭嫚, 王晔昕, 苟盛, 岳宗玉, 辛鑫, 贾萌娜, 牛胜利. 2019b. 多源数据的嫦娥四号着陆点定位. *遥感学报*, 23(1): 177-184) [DOI: 10.11834/jrs.20199015]
Di K C, Liu B, Xin X, Yue Z Y and Ye L J. 2019a. Advances and applications of lunar photogrammetric mapping using orbital images. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 48(12): 1562-1574 (邸凯昌, 刘斌, 辛鑫, 岳宗玉, 叶乐佳. 2019b. 月球轨道器影像摄影测量制图进展及应用. *测绘学报*, 48(12): 1562-1574) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2019.20190462]
Di K C, Xiao Z Y, Lin Y T and Yue Z Y. 2022. Formation of South Pole-Aitken basin and early impact history of the moon. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 36(6): 880-887 (邸凯昌, 肖智勇, 林杨挺, 岳宗玉. 2022. 月球南极—艾特肯盆地的形成与早期撞击历史. *中国科学基金*, 36(6): 880-887) [DOI: 10.16262/j.cnki.1000-8217.2022.06.002]
Jia Y, Liu S C, Li M L, Li Q Z, Peng S, Wen B, Ma Y Q and Zhang S. 2014. Chang'E-3 system pinpoint landing localization based on descent image sequence. *Chinese Science Bulletin*, 59(19): 1838-1843 (贾阳, 刘少创, 李明磊, 李群智, 彭松, 温博, 马友青, 张烁. 2014. 利用降落影像序列实现嫦娥三号系统着陆点高精度定位. *科学通报*, 59(19): 1838-1843) [DOI: 10.1360/N972014-00020]
Li C L, Liu J J, Ren X, Yan W, Zuo W, Mu L L, Zhang H B, Su Y, Wen W B, Tan X, Zhang X X, Wang W R, Fu Q, Geng L, Zhang G L, Zhao B C, Yang J F and Ouyang Z Y. 2018. Lunar global high-precision terrain reconstruction based on Chang'e-2 stereo images. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 43(4): 485-495 (李春来, 刘建军, 任鑫, 严韦, 左维, 牟伶俐, 张洪波, 苏彦, 温卫斌, 谭旭, 张晓霞, 王文睿, 付强, 耿良, 张广良, 赵葆常, 杨建峰, 欧阳自远. 2018. 基于嫦娥二号立体影像的全月高精度地形重建. *武汉大学学报·信息科学版*, 43(4): 485-495) [DOI: 10.13203/j.whugis.20170400]
Li C L, Wang C, Wei Y and Lin Y T. 2019. China's present and future lunar exploration program. *Science*, 365(6450): 238-239 [DOI: 10.1126/science.aax9908]
Liu B, Di K C, Wang B F, Tang G S, Xu B, Zhang L L and Liu Z Q. 2015. Positioning and precision validation of Chang'E-3 Lander based on multiple LRO NAC images. *Chinese Science Bulletin*, 60(28-29): 2750-2757 (刘斌, 邸凯昌, 王保丰, 唐歌实, 徐斌, 张璐璐, 刘召芹. 2015. 基于LRO NAC影像的嫦娥三号着陆点高精度定位与精度验证. *科学通报*, 60(28-29): 2750-2757) [DOI: 10.1360/N972015-00336]
Melosh H J, Kendall J, Horgan B, Johnson B C, Bowling T, Lucey P G and Taylor G J. 2017. South Pole-Aitken basin ejecta reveal the Moon's upper mantle. *Geology*, 45(12): 1063-1066 [DOI: 10.1130/G39375.1]
Meng Z F. Design of sun-synchronous repeat tracking condition frozen elliptical lunar orbits. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica* (孟

- 占峰. 月球大椭圆太阳同步测控回归冻结轨道设计. 航空学报 [DOI: 10.7527/S1000-6893.2024.29926]
- Moriarty D P, Dygert N, Valencia S N, Watkins R N and Petro N E. 2021. The search for lunar mantle rocks exposed on the surface of the Moon. *Nature Communications*, 12: 4659 [DOI: 10.1038/s41467-021-24626-3]
- Potter R W K, Head J W, Guo D J, Liu J Z and Xiao L. 2018. The Apollo peak-ring impact basin: insights into the structure and evolution of the South Pole – Aitken basin. *Icarus*, 306: 139-149 [DOI: 10.1016/j.icarus.2018.02.007]
- Robinson M S, Brylow S M, Tschimmel M, Humm D, Lawrence S J, Thomas P C, Denevi B W, Bowman-Cisneros E, Zerr J, Ravine M A, Caplinger M A, Ghaemi F T, Schaffner J A, Malin M C, Mahanti P, Bartels A, Anderson J, Tran T N, Eliason E M, McEwen A S, Turtle E, Jolliff B L and Hiesinger H. 2010. Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC) instrument overview. *Space Science Reviews*, 150(1-4): 81-124 [DOI: 10.1007/s11214-010-9634-2]
- Wan W H, Liu Z Q, Liu Y L, Liu B, Di K C, Zhou J L, Wang B F, Liu C K and Wang J. 2014. Descent image matching based position evaluation for Chang'e-3 landing point. *Spacecraft Engineering*, 23(4): 5-12 (万文辉, 刘召芹, 刘一良, 刘斌, 邸凯昌, 周建亮, 王保丰, 刘传凯, 王镓. 2014. 基于降落图像匹配的嫦娥三号着陆点位置评估. 航天器工程, 23(4): 5-12 [DOI: 10.3969/j.issn.1673-8748.2014.04.002])
- Wang J, Zhang Y, Di K C, Chen M, Duan J F, Kong J, Xie J F, Liu Z Q, Wan W H, Rong Z F, Liu B, Peng M and Wang Y X. 2021. Localization of the Chang'e-5 lander using radio-tracking and image-based methods. *Remote Sensing*, 13(4): 590 [DOI: 10.3390/rs13040590]
- Xie B, Liu B, Di K C, Zhang Y F, Wang B and Zhao C X. 2024. Analysis of the temporal and spatial characteristics of lunar reconnaissance orbiter's orbit error based on multi-coverage narrow angle camera images. *Geo-Spatial Information Science*, 1-14 [DOI: 10.1080/10095020.2024.2347940]
- Zeng X G, Liu D W, Chen Y, Zhou Q, Ren X, Zhang Z B, Yan W, Chen W L, Wang Q, Deng X J, Hu H, Liu J J, Zuo W, Head J W and Li C L. 2023. Landing site of the Chang'e-6 lunar farside sample return mission from the Apollo basin. *Nature Astronomy*, 7(10): 1188-1197 [DOI: 10.1038/s41550-023-02038-1]
- Zhou C Y, Jia Y Z, Liu J Z, Li H J, Fan Y, Zhang Z L, Liu Y, Jiang Y Y, Zhou B, He Z P, Yang J F, Hu Y F, Liu Z H, Qin L, Lv B H, Fu Z L, Yan J, Wang C and Zou Y L. 2022. Scientific objectives and payloads of the lunar sample return mission—Chang'E-5. *Advances in Space Research*, 69(1): 823-836 [DOI: 10.1016/j.asr.2021.09.001]

High-precision visual localization of the Chang'e-6 lander

LIU Zhaoqin¹, PENG Man¹, DI Kaichang¹, WAN Wenhui¹, LIU Bin¹, WANG Yexin¹, XIE Bin^{1,2},
KOU Yuke^{1,2}, WANG Biao^{1,2}, ZHAO Chenxu^{1,2}, ZHANG Yifan^{1,2}

1. Key Laboratory of Remote sensing and Digital Earth, Aerospace information Research institute, Chinese Academy of sciences, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: China's Chang'e-6 (CE-6), the world's first lunar farside sample-return mission, successfully landed on the preselected landing site in the Apollo basin inside the South Pole–Aitken basin on June 2, 2024. The high-precision localization of the lander is of considerable importance for supporting engineering operations and scientific studies of the landing site and the returned samples. This study presents the localization techniques and results of the CE-6 lander. Using the Digital Orthophoto Maps (DOMs) produced from images taken by Chang'e-2 (CE-2) and the Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC) Narrow Angle Camera (NAC) as base maps, the CE-6 lander has been localized through a visual localization method based on image feature matching between descent images acquired by the lander and the base maps. A new descent image simulation technique has been developed based on orbital base maps and terrain data before landing to automate image matching between descent images and orbital base maps. After landing, descent images are downlinked and lander localization is performed using the developed visual localization method. The location of the CE-6 lander location is determined to be (153.9780°W, 41.6252°S) on the CE-2 base map and (153.9855°W, 41.6384°S) on an LROC NAC base map (Image ID: M166854798LE). The average location of the lander from five LROC NAC base maps is (153.9856°W, 41.6383°S). The location of the high-precision CE-6 lander has been directly supported by engineering operations, and it will be valuable for comprehensive studies on the landing site by using remote sensing data and studies on the provenance of the samples.

Key words: remote sensing, Chang'e-6, lander localization, descent camera image, image simulation, image matching

Supported by National Key Research and Development Program of China (No. 2022YFF0503100)