

基于地面图像和卫星图像集成的 火星车定位新方法

邸凯昌 岳宗玉 刘召芹

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要 提出了一种基于地面图像和卫星图像集成的火星车定位新方法, 该方法利用由导航相机立体图像得到的火星表面的点云数据提取石块, 同时对高分辨率卫星图像局部灰度统计提取石块, 通过地面和卫星图像中石块分布模式的匹配, 实现火星车在卫星图像中的定位, 从而消除仅利用地面传感器和影像定位产生的累计误差。采用 NASA 勇气号火星车在多个摄站获取的地面图像以及 HiRISE 卫星图像进行了实验验证, 结果表明这种方法在石块较多的地区能够取得很好的自动定位结果, 定位误差小于 HiRISE 卫星图像的一个像素(0.25 m)。

关键词 火星车定位; 导航相机; HiRISE 卫星图像; 石块提取; 石块模式匹配

中图分类号: V416 文献标志码: A 文章编号: 1673-8748(2010)04-0008-09

A New Approach to Mars Rover Localization Based on Integration of Ground and Orbital Images

DI Kaichang YUE Zongyu LIU Zhaoqin

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences,
Beijing 100101, China)

Abstract: This paper presents a new approach to rover localization based on integration of ground and orbital images. In this approach, rocks are extracted from 3-D point cloud data derived from the Navcam stereo images and are also extracted from high resolution orbital image through local image statistics; through matching the rock distribution patterns between the two kinds of images matching, the rover is localized in the orbital image, thus eliminating location error accumulation caused by only using ground sensors and images. The effectiveness of the proposed approach is demonstrated through experiments using Navcam images from multiple sites of NASA's Spirit rover and a HiRISE orbital image. The results show that it generates satisfactory results in rock-abundant regions with a precision of higher than one HiRISE pixel (0.25 m).

Key words: rover localization; navigation camera; HiRISE orbital image; rock extraction; rock pattern matching

收稿日期: 2010-05-25; 修回日期: 2010-06-30

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)资助项目(2009AA12Z310); 国家自然科学基金资助项目(40871202)。

作者简介: 邸凯昌(1967-), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 现从事行星遥感制图与导航定位研究。

1 引言

在嫦娥 1 卫星绕月工程胜利结束后, 我国月球探测二期工程已经展开, 按照计划将进行月球表面软着陆与月球车巡航^[1], 而高精度的探测车定位对探测车的安全及科学目标和工程目标的实现都具有至关重要的作用^[2]。在月球和行星探测导航定位中, 由于没有全球定位系统(GPS)和缺乏参考物, 在地球上常用的基于 GPS 及基于路标的定位方法^[3]不能得以直接应用。在 1997 年美国火星探路者(Mars Pathfinder)任务中, 火星车旅居者(Sojourner)的实时定位是通过航迹推算实现的, 由于 Sojourner 火星车仅在围绕着陆器 10m × 10m 的小范围内运行, 从着陆器的立体图像中也可以直接看到火星车并量测其位置进行定位^[4]。2003 年开始的美国火星探测车(Mars Exploration Rover, MER)任务勇气号和机遇号火星车运行过程中, 航迹推算、视觉测程法和基于光束法平差的定位方法得到了应用^[5-8]。这些仅利用地面传感器和影像的定位方法有着不同的定位误差和适用范围, 它们的定位误差随着运行距离的增长都会不可避免地累计增大^[9]。

在火星车探测计划中, 火星车探测的中长期计划一般是在卫星图像上做出的, 而短期计划是在地面图像(火星车的导航或全景相机图像)上量测做出的。为了使短期计划和中长期计划有效地结合起来, 火星车的定位不仅要确定火星车当前位置相对于以前位置的距离和方位, 还需要确定火星车在卫星图像上的位置, 这就需要将地面图像与卫星图像集成起来对火星车定位。目前, 火星卫星图像的分辨率越来越高, 如高分辨率科学成像仪(High Resolution Imaging Science Experiment, HiRISE)图像分辨率可达 0.25m, 为实现这一目的提供了有利条件。火星车在卫星图像定位, 一方面可以消除仅利用地面传感器和图像进行火星车定位的误差累计, 提高火星车执行任务的安全性和效率; 另一方面使得基于火星车的科学观测能够同卫星图像上的观测进行多尺度对比分析和相关分析, 这对于火星车探测过程中的科学研究是十分重要的。

火星车地面图像与卫星图像的观测角度相差 90°左右, 分辨率相差也很大, 进行地面图像和卫星图像的直接匹配是十分困难的。在目前的 MER 运行过程中, 地面图像同卫星图像的对比靠人工实现,

耗时长、精度低。本文研究了一种自动化的新方法, 该方法通过从地面图像和卫星图像中自动提取石块并匹配其分布模式, 实现火星车在高分辨率卫星图像中的精确定位。本方法同样可用于未来月球车的定位。

Hwangbo 和本文第一作者等人近期进行了卫星和地面图像集成的火星车定位方法研究^[10], 其基本过程包括从卫星和地面图像提取石块、数字高程模型匹配减小石块匹配的搜索范围、基于简单平移模型的石块分布模式匹配、基于仿射变换模型的火星车位置计算等。同他们的方法相比, 本文提出的方法有以下不同和创新点: 1) 石块提取方法简便; 2) 无需数字高程模型匹配提供好的火星车初始位置; 3) 石块分布模式匹配基于相似变换模型(平移、旋转和伸缩)而非简单的平移模型, 因而具有更强的适应性和精度。

2 数据

2.1 火星地面图像

勇气号和机遇号火星车通过其立体相机(包括导航相机(Navcam)、全景相机(Pancam)和避障相机(Hazcam)等获取了大量的火星地面图像, 从立体图像对可制作系列地图产品, 包括三维点云数据、数字地面模型(DEM)、正射影像、等高线图、坡度图等^[7-8]。

本研究以勇气号火星车为例, 为了便于重复研究和对比, 研究和实验中使用经核线重采样的 Navcam 立体像对及派生的三维点云数据, 直接从 MER Analyst's Notebook 网站中下载(<http://an.rsl.wustl.edu/mer/mera/mera.htm>)。这些数据由美国喷气动力实验室(JPL)的多任务图像处理实验室(Multimission Image Processing Laboratory, MIPL)通过其软件流水线自动生成, 核线重采样的图像称为立体图像数据(FFL)文件; 三维点云数据文件称为XYL文件, 按立体像对核线重采样后的左图像为索引, 存储每个像素点在工作区局部坐标系中地面坐标 X、Y、Z 值。图 1 所示为 Navcam 获取的一对立体图像及三维点云数据叠加图像效果图, a 是左相机获取图像(图像编号: 2N187807779FFLAK00P1625LOM1), b 是右相机获取图像(图像编号: 2N187807779FFLAK00P1625ROM1), c 是三维点云数据叠加图像效果图。

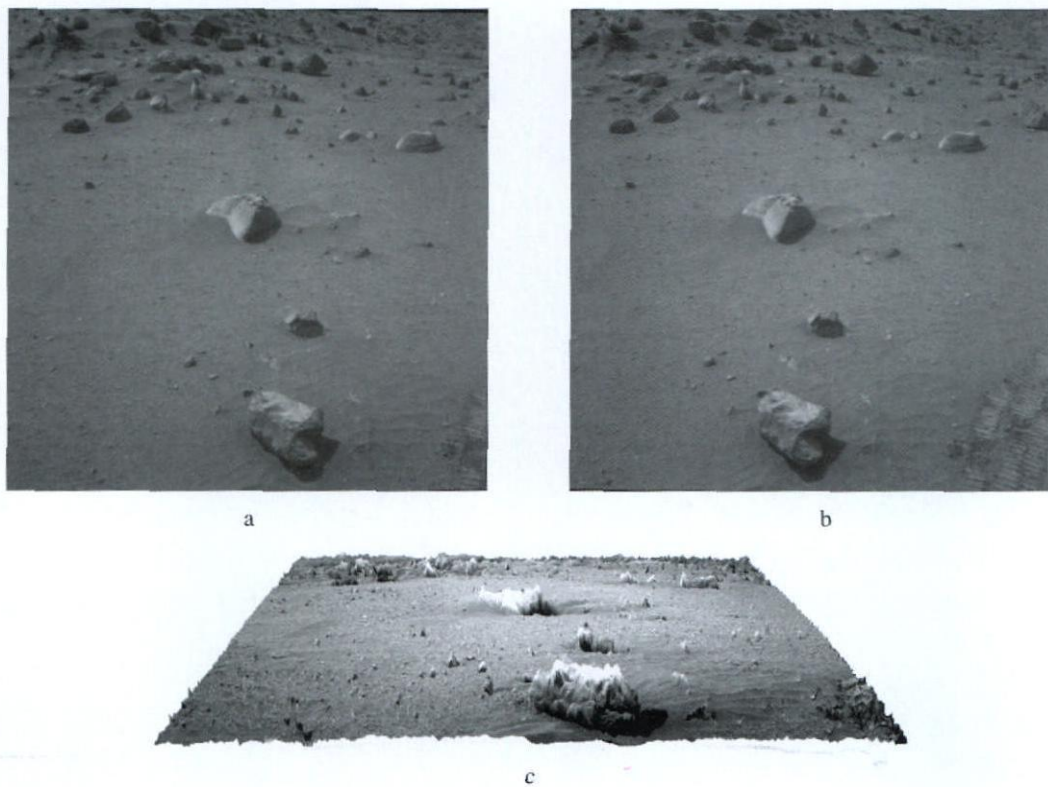


图1 Navcam 获取的立体图像及其生成的三维点云数据叠加图像效果图

Fig. 1 A pair of stereo images from Navcam and a 3D view by overlapping the image on 3D point cloud data

2.2 火星卫星图像: HiRISE 图像

美国火星勘测轨道器 (Mars Reconnaissance Orbiter, MRO) 携带的 HiRISE 是目前火星卫星图像传感器中分辨率最高的。HiRISE 相机由 14 个 CCD 探测元件组成, 其中 10 个为红光波段, 2 个为蓝光波段, 以及 2 个近红外波段, 以推扫式扫描的方式获取火星表面图像; 每个 CCD 在垂直于行进的方向有 2 048 个像元, 沿行进方向有 128 个像元; HiRISE 图像具有高信噪比、高分辨率 (25 cm/pixel~32cm/pixel) 的特点^[11-12]。目前公布了两种标准的数据, 即 EDR 格式的原始数据和经过简单处理的 RDR 格式的数据。RDR 格式的数据是经 HiRISE 数据处理中心使用 PDS_JP2 软件处理后的数据 (jp2 格式), 它已经进行了辐射校正、几何校正等各种处理, 每幅红波段图像是由 10 个 CCD 图像镶嵌而成, 其空间分辨率因在处理过程中的重采样而分别为 0.25m/pixel 和 0.50m/pixel。EDR 格式的数据可以应用美国联邦地质调查局开发的 ISIS (Integrated Software for Imagers and Spectrometers) 软件进行处理。以上两种格式的数据既可以通过 HiRISE 网站下载 (<http://hirise.lpl.arizona.edu/>),

也可以在 PDS (Planetary Data System) 网站上下载 (<http://pds.jpl.nasa.gov/>)。

本项研究中使用的卫星图像数据为 EDR 格式的原始数据, 图像编号为 PSP_001777_1650RED2_1。为避免像元重采样的影响, 用 ISIS 软件只对图像作了辐射校正。图 2 是研究区一块 HiRISE 图像, 是勇气号着陆区的“本垒”地区; 右部图像为局部放大图, 图像中的黑色斑点为石块。

3 火星车定位的新方法

我们提出通过火星车地面图像和卫星图像中石块分布模式匹配, 将火星车地面图像同卫星图像进行匹配, 实现火星车在卫星图像上定位的目的。火星车立体图像数据 (FFL) 中头文件中包含有相机的内、外方位元素, 对应的三维点云数据 (XYL 文件) 坐标同火星车坐标均位于同一个火星车局部站点坐标系中^[7], 因此, 知道了点云图中几个石块顶点在卫星图像中的位置坐标, 就可以通过一个坐标变换将火星车的在局部站点坐标系中的坐标变换到卫星图像上, 达到火星车在高分辨率卫星图像上定位的目的。

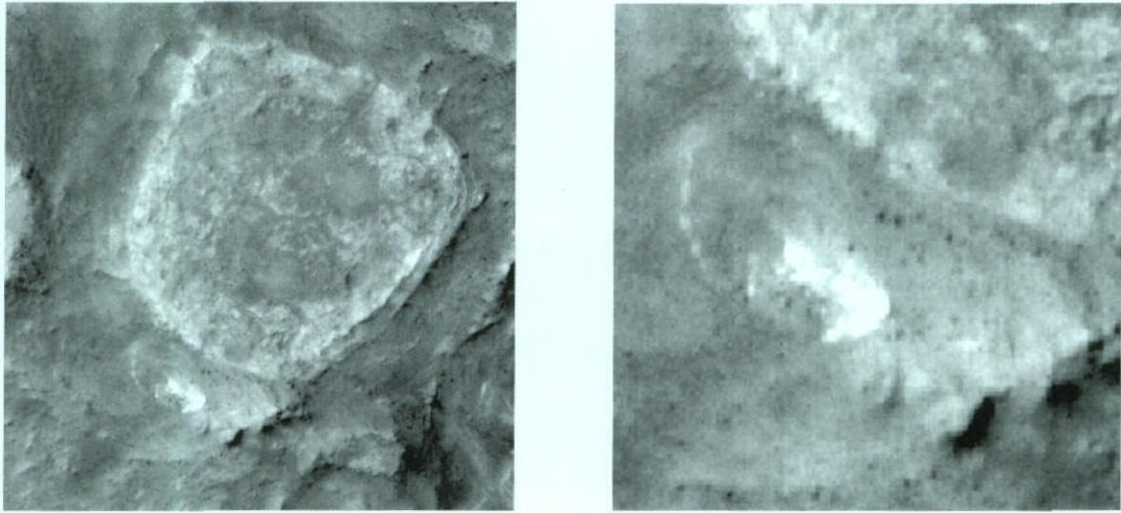


图2 研究区 EDR 格式的数据 HiRISE 图像, 右部图像为局部放大图

Fig. 2 HiRISE image of the study area with an enlarged portion shown on the right

3.1 火星车地面图像石块提取

从 Navcam 图像提取石块的基本过程是: 首先根据由立体图像派生出的三维点云数据得到地面的位置(X 、 Y 值)及高程值(Z 值), 然后在局部小窗口内进行地平面拟合, 将高于地平面某阈值的点提取为石块, 具体步骤如下:

- 1) 读取 Navcam 图像的 FFL 及 XYL 文件;
- 2) 定义提取石块的最小高度 H (0-10m)、最大宽度 A (0-50m)、有效测距范围 D (距相机 20m)、及石块提取窗口大小 W (32×32 像素);
- 3) 在 XYL 文件中针对每个像素判断, 如果其

对应地面坐标为空值或距相机距离大于 D , 则忽略该像素, 继续判断其他像素, 否则转 4);

4) 用窗口 W 内的三维点拟合平面, 去除高于平面上的点重新拟合平面, 执行 3 次;

5) 求窗口 W 内在平面以上并且到平面距离值最大的点, 若该点距离值大于 H , 则认为是石块峰值的候选点, 转 6), 否则转 3) 继续判断其他像素;

6) 求范围 A 内的候选石块峰值点的最高值, 作为最终的石块峰值点;

7) 转 3) 继续判断其他像素, 直至遍历整个 XYL 文件;

8) 显示 FFL 图像及提取的石块峰值点。

图 3 显示了从一个立体像对(图 1)的地面图像提取石块的结果, 每个红十字表示石块的位置, 黄色标号表示石块的编号。可以看出, 比较大的石块均能正确提取出来。

3.2 卫星图像石块提取

如图 2 所示, 在经过辐射校正过的 HiRISE 图像上, 石块表现为黑色点状要素, 但面积较小。为了使局部图像统计更加准确而便于提取石块, 将图像划分成小块图像进行处理。石块提取具体步骤如下:

1) 将图像划分成许多小块, 如 100 像素 \times 100 像素, 将小图像线性拉伸至 $[0, 1]$;

2) 统计每个小块图像的平均值 a 与标准偏差 b ;

3) 针对小块图像的每个像素, 在 5×5 的窗口内



图3 地面图像中石块提取的结果

Fig. 3 Rock extraction result from a stereo pair of ground images

找到最小值,若该像素是最小值,则进行后续处理,否则忽略该像素;

4) 对以最小值为中心的 5×5 窗口进行统计,按下列公式生成标准偏差、最小值和最大值图像:

$$\text{std_image}(i, j) = \text{std}(\text{image}(i-2:i+2, j-2:j+2))$$

$$\text{min_image}(i, j) = \text{min}(\text{image}(i-2:i+2, j-2:j+2))$$

$$\text{max_image}(i, j) = \text{max}(\text{image}(i-2:i+2, j-$$

$2:j+2)$);

5) 对窗口中的最小值进行下列判别:

$$\text{max_image}(i, j) - \text{min_image}(i, j) > 1.35b$$

$$\text{min_image}(i, j) < a - b$$

$$\text{std_image}(i, j) > 0.3b$$

符合所有判别标准的像元判定为石块。其中 1.35 和 0.3 是经过大量实验得到的经验值,在本实验中取得良好结果。图 4 为图 2 的石块提取结果,红十字为提取的石块。

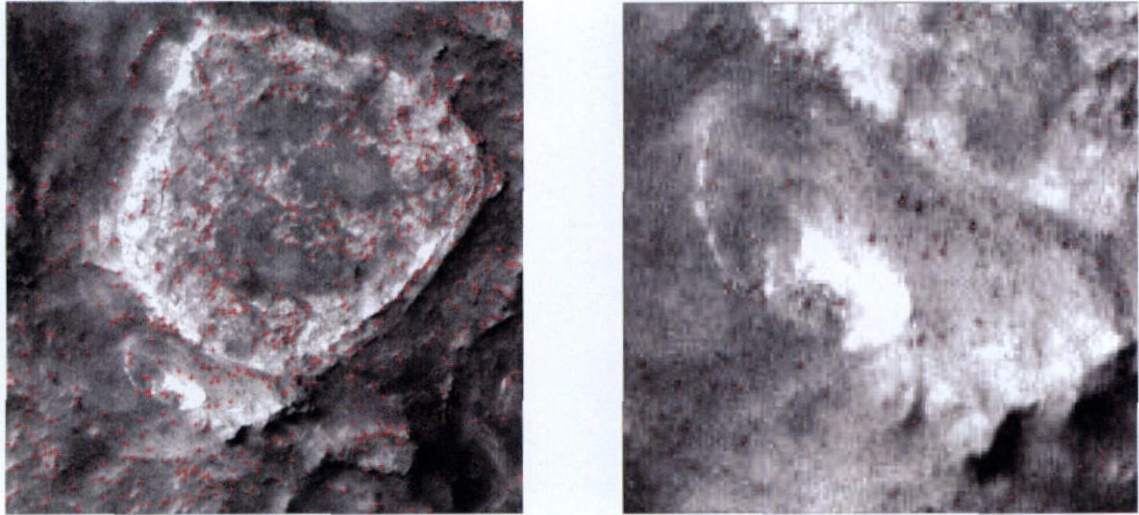


图 4 HiRISE 图像中石块提取结果,右图为提取结果的局部放大图

Fig 4 Rock extraction result from the HiRISE image with an enlarged portion shown on the right

3.3 石块分布模式匹配及火星车定位

从卫星图像和地面图像提取石块之后,采用基于分布模式的方法进行石块匹配。两组石块间的几何关系用相似变换模型(平移、旋转和伸缩)来表达,由对应的两个石块就可以确定模型参数。由于部分从地面数据提取的石块在卫星图像上的对应石块并没有提取出来,反之亦然,我们借鉴 RANSAC(Random Sample Consensus)方法,开发了一种“试探匹配加一致性验证”的策略实现两组石块的匹配。其基本思想是从地面图像中两两选择石块,试探性地匹配卫星图像中的两个石块,根据这两对石块确定相似变换系数进行坐标变换并判断其他石块间的匹配结果,选择最好的匹配结果将火星车定位在 HiRISE 图像上。采用相似变换模型而不是文献[10]中的简单平移模型,除了平移外还能够表达地面坐标与 HiRISE 图像间的旋转和微弱的比例尺变化,因而在石块分布模式匹配时具有更强的适应性和精度。

Navcam 图像和 HiRISE 图像中石块分布模式

匹配算法的过程如下:

1) 分别将 HiRISE 图像上和 Navcam 图像中石块两两连线,首先判断 HiRISE 图像上 2 个石块(十字)间的距离和 Navcam 图像中 2 个石块(黑点)间的距离间的差值,是否小于 1m,并且两石块连线间的夹角是否小于 45° ,只有满足这两个条件,4 个石块才可能两两匹配。如图 5 所示,A 和 B 表示 HiRISE 图像上的两个石块,C 和 D,E 和 F,G 和 H 分别表示 Navcam 图像中的两个石块,虚线表示 AB 的平移线;如果两石块连线夹角大于 45° (EF),或石块间距的差值大于 1m(GH),则该四个石块不可能匹配;只有满足两石块夹角小于 45° 且间距差值小于 1m(CD),才能与 AB 两石块匹配。

2) 如果图像中的两个石块能够满足以上两个条件,则根据四个石块进行试探性匹配。首先分别平移两组石块使得将 A 点和 C 点移至坐标系原点(即 A、C 点重合);然后分别旋转两组石块,使 B 点和 D 点都位于 X 轴上;最后对 C、D 间距离进行伸缩,使这两个距离完全相等,这样,A、C 完全匹配,

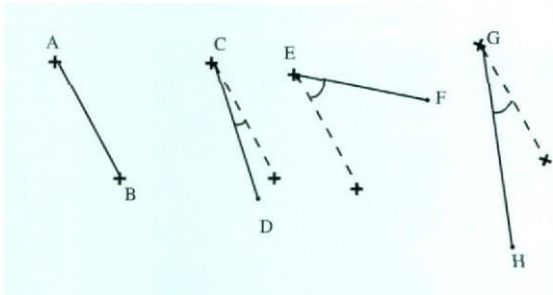


图 5 根据距离和方向选择可能匹配的两对石块
Fig 5 Selection of possible matches of two pairs of rocks according to distance and direction

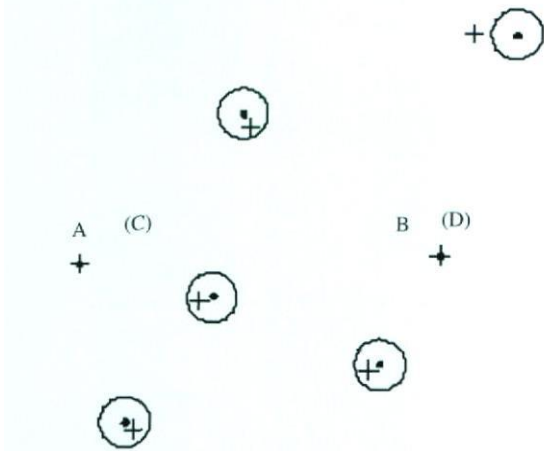


图 6 将可能匹配的两对石块经过平移、旋转和伸缩完全重合, 判断其他石块的吻合程度
Fig. 6 Consistency checking after translation, rotation and scaling based on a possible match

B、D 完全匹配(图 6)。

3) 在每次试探性匹配的同时, 计算其匹配的残差, 过程如下: 首先在 Navacm 图像点云中石块(黑点)的周围(半径为 0.5m 的圆内)搜索, 是否有 HiRISE 图像中的石块(十字), 如果有则找到距其最近者, 认为二者匹配, 如果没有, 则认为该石块在 HiRISE 图像上不存在匹配的石块; 然后计算相匹配的石块间的平均距离差作为每次匹配的残差(图 6)。

4) 满足匹配石块个数至少为 5 个, 并且残差最小的试探性匹配即为最终匹配结果。

5) 根据最终匹配的所有石块用最小二乘法确定平移、旋转和伸缩系数, 并对火星车位置进行坐标变换, 将火星车定位在 HiRISE 图像上。

4 实验结果

我们沿勇气号行进路线从 4 个站点(site)中选

取了 5 个位置(position)的地面图像, 并从 HiRISE 图像中选取与之相应的区域图像(position 与 site 的含义参见 MER Analyst's Notebook 网站: <http://an.rsl.wustl.edu/mer/>), 根据上述方法从两幅图像中提取石块并进行了匹配, 然后对火星车各个位置用相似变换模型进行坐标变换, 定位在卫星图像上。

图 7(a) 是在 AV 站点 KC 位置 Navcam 图像(第 1348 个火星日所摄)与 HiRISE 图像石块匹配的结果。上图为 Navcam 图像的镶嵌图(所用图像编号自左至右为: 2N246036969FFLAVKCP1903L0M1, 2N246037006FFLAVKCP1903L0M1, 2N246040737FFLAVLFP0727L0M1), 白色十字表示从中提取的石块的位置, 旁边的数字表示石块编号; 下图为 HiRISE 图像石块提取结果及火星车在 HiRISE 图像定位结果, 黑色圆圈表示提取的石块位置, Δ 表示火星车在 HiRISE 图像中的位置; 黑色直线连接的为匹配上的石块。图 b 是火星车地面图像中提取的石块在站点坐标系下的分布, 图 c 是 HiRISE 图像提取的石块在卫星图像坐标系中的分布, 图 d 为匹配结果图(对于从地面图像中提取的石块, 只显示了匹配成功的), Δ 为匹配后确定的火星车在 HiRISE 图像中的位置, 计算所有匹配上点的 X 和 Y 方向的残差中误差分别为 0.23 像素和 0.25 像素(HiRISE 像素)。

用同样的方法对多个其他位置进行石块匹配与火星车定位, 图 8 表示另外 4 个位置石块匹配及火星车定位的结果。图中黑色圆圈表示在 HiRISE 影像上提取的石块, 十字表示 Navcam 图像石块匹配的结果, 旁边的数字为石块编号, Δ 表示火星车位置。为了图面整洁, 在图 8 中对于从地面图像中提取的石块, 只显示匹配成功的。经目视解译对比, 所有石块匹配结果均正确, 表明所提出定位方法有较强的可靠性。

本文所提出的方法中, 火星车相对于卫星图像的定位精度可以用石块匹配的残差来表征, 采用最终匹配结果的所有石块确定的坐标变换所对应的残差。表 1 列出了在各个站点匹配过程中从地面图像提取石块的个数、匹配石块个数及匹配的残差中误差。所实验五个位置的定位误差均小于卫星图像的一个像素, 表明该方法具有很高的定位精度。

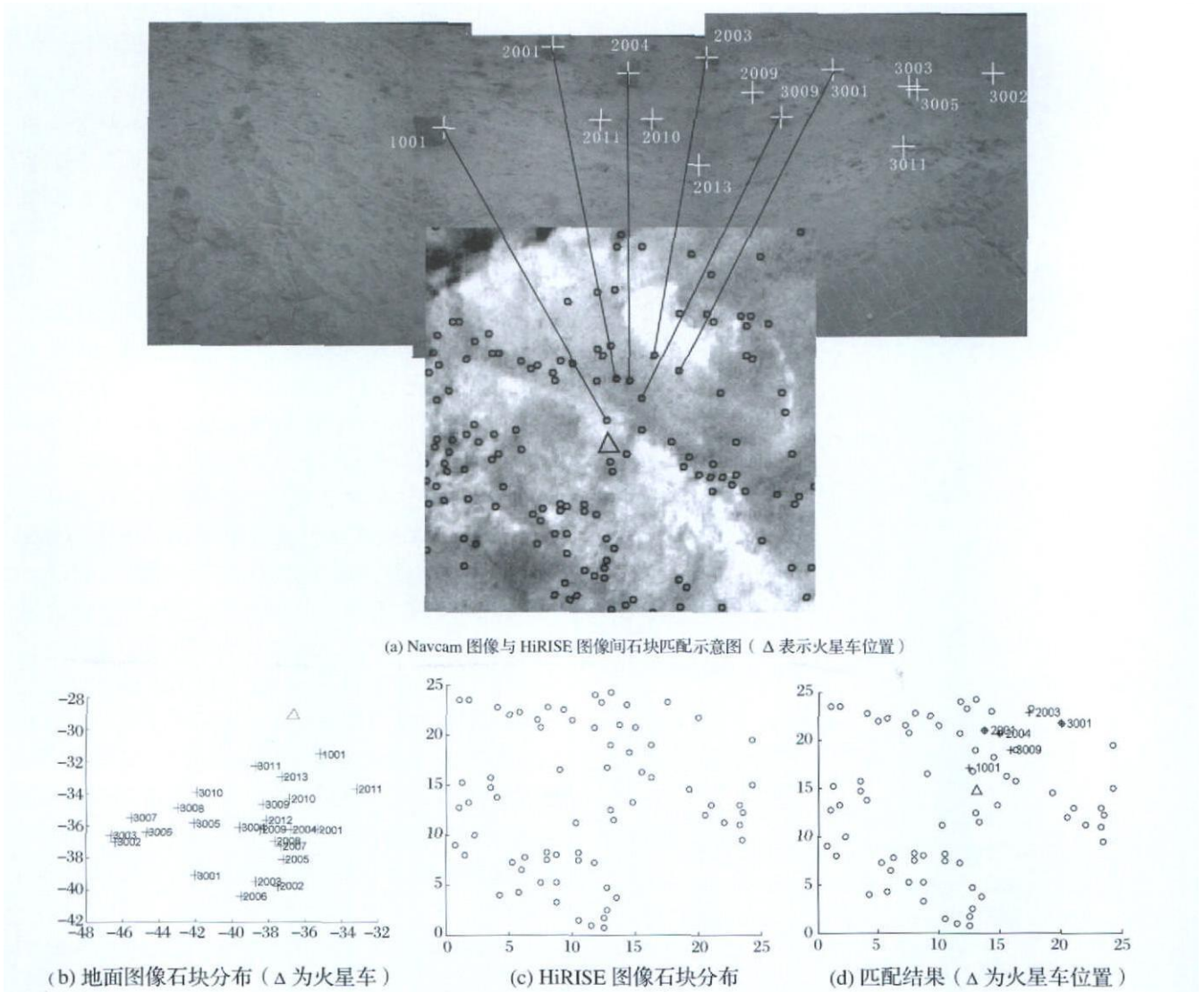


图 7 AV 站点 KC 位置 Navcam 图像与 HiRISE 图像间石块匹配及火星车定位结果

Fig 7 Rock matching and rover, localization results from HiRISE image and Navcam images at position KC of site AV

表 1 Navcam 各个站点匹配石块个数及匹配精度

Table 1 Rover positions and the numbers of extracted and matched rocks

位置	火星日(sol)	从地面图像提取石块个数	匹配个数	RMS(X) (HiRISE 像素)	RMS(Y) (HiRISE 像素)
AV-EF	1 334	14	5	0.23	0.25
AV-FU	1 337	16	5	0.28	0.22
AV-JA	1 347	8	6	0.43	0.72
AV-KC	1 348	7	6	0.93	0.97
AV-LF	1 348	7	6	0.22	0.73

5 结论

本文提出了一种基于地面图像和卫星图像集成的火星车定位新方法,通过石块提取和分布模式匹

配,实现了火星车在高分辨率卫星图像中的定位而消除定位误差的累积,这对火星车行进路线设计和保证其安全高效工作具有重要意义。采用勇气号火星车多站 Navcam 数据及 HiRISE 卫星图像的实验证明,这种方法在石块较多的地区能够取得很好的

自动定位结果, 有较强的可靠性, 定位误差小于 Hi-RISE 卫星图像的一个像素(0.25 m)。所开发的火星车定位新方法可以结合已有的仅利用地面传感器

和图像进行火星车定位方法使用, 也可用于月球车的长距离导航定位。

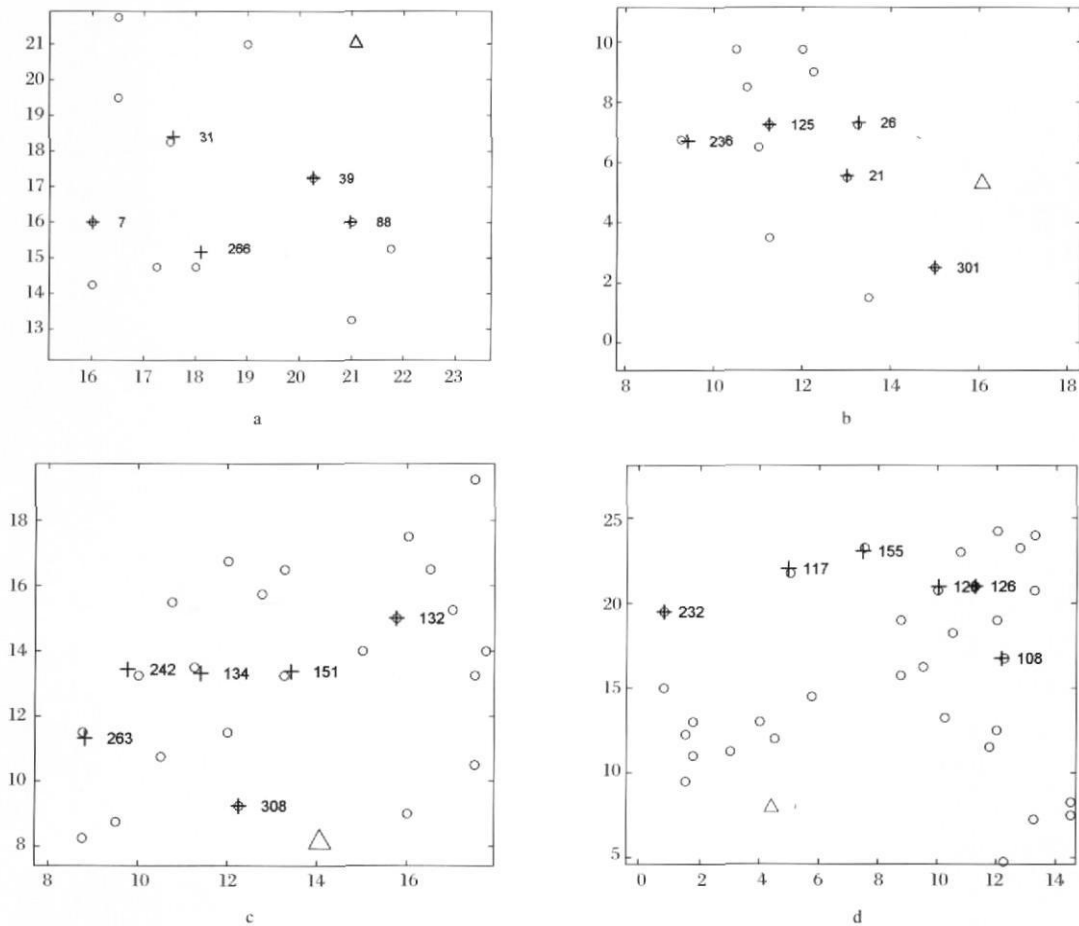


图 8 AV-EF(a)、AV-FU(b)、AV-JA(c)、AV-LF(d) 位置的石块匹配及火星车定位结果图(Δ 为火星车位置)

Fig 8 Rock matching and rover localization results at AV-EF (a), AV-FU (b), AV-JA (c), and AV-LF (d)(Δ-rover position)

需要说明的是, 在石块分布数量较少、规模较小的地区(如机遇号火星车的着陆区), 该方法将无法使用。在这些地区可选择其他特征进行地面图像和卫星图像间的匹配和集成, 如火星表面的沙丘脊、撞击坑边缘、远处的山峰等。这将是我们的一个研究方向。

参考文献 (References)

- [1] 欧阳自远. 我国月球探测的总体科学目标与发展战略 [J]. 地球科学进展, 2004, 19(3): 351-358
- [2] Li R, Di K, Howard A B, et al. Rock modeling and matching for autonomous long-range Mars rover localization [J]. Journal of Field Robotics, 2007, 24(3): 187-203
- [3] Hu H, Gu D. Landmark-based navigation of industrial mobile robots [J]. International Journal of Industry Robot, 2000, 27(6): 458-467
- [4] Matthies L, Gat E, Harrison R, et al. Mars microrover navigation: performance evaluation and enhancement [J]. Autonomous Robots, 1995, 2(4): 291-311
- [5] Li R, Di K, Matthies L H, et al. Rover localization and landing site mapping technology for 2003 Mars Exploration Rover mission [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2004, 70(1): 77-90
- [6] Cheng Y, Maimone M W, Matthies L H. Visual odometry on the Mars exploration rovers [J]. IEEE Robotics and Automation Special Issue (MER), 2006, 13(2): 54-62
- [7] Di K, Xu F, Wang J, et al. Photogrammetric processing of rover imagery of the 2003 Mars exploration rover mission [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Re-

- mete Sensing, 2008, 63: 181-201
- [8] Li R, Squyres S W, Arvidson R E, et al. Initial results of rover localization and topographic mapping for the 2003 Mars exploration rover mission [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Special issue on Mapping Mars, 2005, 71(10): 1129-1142
- [9] 邱凯昌. 勇气号和机遇号火星车定位方法评述 [J]. 航天器工程, 2009, 18(5): 1-5
- [10] Hwangbo J W, Di K, Li R. Integration of orbital and ground image networks for the automation of rover localization [C] // Proceedings of the ASPRS 2009 Annual Conference, Baltimore, MD, 2009, March 8-13, 2009, 12(CD-ROM)
- [11] Kirk R L, Howington K E, Rosiek M R, et al. Ultra-high resolution topographic mapping of mars with HiRISE stereo images: methods and first results [C] // Lunar and Planetary Science XXXVIII, 2007, # 1428
- [12] Delamere A, Becker I, Bergstrom J, et al. MRO high resolution imaging science experiment (HIRISE): instrument development [C] // Sixth International Conference on Mars, 2003, # 3287

(编辑: 朱 丽)

动态新闻

英国航天局投资参与火星探测任务

据英国航天局网站 2010 年 6 月 11 日报道,英国航天局宣布投资 1 050 万英镑开发星载仪器,探测火星过去或现有生命的迹象。这些仪器将作为科学有效载荷,搭乘欧美合作的“火星生物学”探测器(ExoMars)“漫游车”上。该“漫游车”将于 2018 年发射,是英国航天局科学探索计划中的旗舰项目。该项目分两步走:第一步是 2016 年,NASA 将发射欧洲航天局的一辆轨道器,了解火星大气中的失踪气体的起源与分布,特别是甲烷。这个轨道器还将释放一个试验用的探测器,下降到火星大气层内,使用探测器上的助推器验证欧洲在另一个行星上控制着陆的能力;第二步是在 2018 年,NASA 将让欧洲航天局的 ExoMars“漫游车”和 NASA 的一个“漫游车”一同着陆。与美国之前的漫游车不同,ExoMars 携带的一个雷达能够探测到火星表面之下,一个钻孔器能在表层之下 2m 取样,之后样品送回漫游车上的实验室。

火星-500 试验已进行两周 中国志愿者状态良好

据人民网 2010 年 6 月 21 日报道,火星-500 试验自 6 月 3 日启动入舱仪式以来,已进行两周。6 名志愿者逐渐适应舱内生活。入舱头几天,主要开展了人体心肺系统功能研究。6 名志愿者使用力量训练器、跑步机、脚踏车式测力器、握力器等特殊设备进行了体能训练项目。同时也进行了各种心理测试。通过俄罗斯提供的方法以及欧洲航天局提供的方案标准,对每个志愿者的适应能力以及整个团队的相容性等方面进行了评测。按照模拟飞行程序,经过 10 天的试验舱模拟飞行,志愿者在第 11 天已经“脱离”地球引力场,开始进入日心轨道。在第 14 天时,飞船与地球距离为 71 000km,与火星距离为 316 540 000km。另据中国驻俄试验队传来的信息,中国志愿者王跃在舱内状态良好。在适应舱内生活,完成日常试验之余,还饶有兴致的教外国志愿者写毛笔字。

