

基于纹理特征的地貌的统计贝叶斯划分方法研究*

万 钧

(中海石油(中国)有限公司深圳分公司 深圳 518000)

摘要: 通过研究“嫦娥一号”拍摄的月球影像灰度图纹理特征,对月貌进行划分,提出一种利用月球纹理特征结合月球影像的灰度值,采用贝叶斯分类法来进行月球地貌的分类。月球影像的纹理特征是由灰度共生矩阵计算出来的 13 种纹理特征量来刻画的。具体方法是:首先,选择能将不同月球地貌区分开的最佳纹理特征及提取这些最佳纹理特征所采用的相应最优窗口尺寸;其次,对这些提取出的纹理特征进行主成分分析,去除相关性,再运用贝叶斯分类法进行月貌分类。实验表明,该方法能很好地提取出月球表面的纹理特征,并能成功地对月球地貌单元进行自动识别和分类。最后制作完成的月球地貌分区图能为月球的进一步研究提供参考,为更好地探索月球提供详细的资料。

关键词: 纹理特征;灰度共生矩阵;月貌分类;主成分分析法;贝叶斯分类法

中图分类号: TP75 文献标识码: A 文章编号: CN11-1780(2021)06-0113-08

DOI: 10.12347/j.ycyk.20210423001

引用格式: 万钧. 基于纹理特征的地貌的统计贝叶斯划分方法研究[J]. 遥测遥控, 2021, 42(6): 113-120.

Research on statistical Bayes classification method of geomorphology

WAN Jun

(CNOOC China Limited, Shenzhen Branch, Shenzhen 518000, China)

Abstract: This paper divides the moon's appearance by studying the texture characteristics of the gray-scale image of the moon captured by Chang'e-1. This paper proposes a method of using the lunar texture features combined with the gray value of the lunar image and adopting the Bayesian classification method to classify the lunar landforms. The texture features of the lunar image are described by 13 texture features calculated by the gray-level co-occurrence matrix. The specific method is to first select the best texture features that can distinguish different lunar landforms and the corresponding optimal window size used to extract these best texture features, and then perform principal component analysis on these extracted texture features to remove the correlation, And then use Bayesian classification to classify the appearance of the moon. Experiments show that this method can well extract the texture features of the lunar surface, and can successfully automatically identify and classify lunar landform units. The finished lunar geomorphological zoning map can provide reference for the further study of the moon and provide detailed information for better exploration of the moon.

Key words: Texture feature; gray level co-occurrence matrix; moon appearance classification; principal component analysis method; Bayesian classification method

DOI: 10.12347/j.ycyk.20210423001

Citation: WAN Jun. Research on statistical Bayes classification method of geomorphology[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2021, 42(6): 113-120.

引 言

近些年来国内对月球进行了很多研究,自“嫦娥一号”2007年成功发射以来,我国科学家对月球的研究取得多个方面重要成果,包括获得月球元素分布图、空间环境探测、完成了1:250万全月球影像图等内容,但对月貌还没有进行大规模的划分研究。“嫦娥一号”探月卫星得到了很多月球表面影像数

*基金项目: 中海石油(中国)有限公司重大科技攻关项目(项目编号: CNOOC-KJ 135 ZDXM 22)资助
收稿日期: 2021-04-23 收修改稿日期: 2021-06-09

据,一般的遥感影像包括色彩、灰度(亮度)和纹理信息,但“嫦娥一号”拍摄的月球影像能直接得到的只有灰度信息。由于干扰、影响遥感图片灰度信息的因素较多,而且在一定程度上存在异物同谱、同物异谱现象,使得通过单纯提取灰度信息得到的信息量非常有限,而纹理是遥感图片上的重要信息和基本特征,是进行遥感图片分析的重要信息源,纹理可帮助抑制异物同谱、同物异谱现象的发生^[1-3]。而“嫦娥一号”拍摄的影像中包含丰富的纹理信息,本文希望提取出这些纹理特征来划分月貌。故本文提出一种基于灰度共生矩阵的多个纹理特征^[4-7]辅助灰度值进行月球地貌划分的方法,并期望该方法能够为探月数据的后续数据处理和地质解释发挥一些作用。本文设计的算法,可能用于今后对其它星球的认识与探索;制作完成的月球地貌分区图能为月球的进一步研究提供参考,例如今后为我国月球登陆器着陆点的选取提供参考等。

1 纹理参数的筛选及窗口的选择

1.1 基于灰度共生矩阵的纹理计算方法

基于灰度共生矩阵的纹理特征分析方法^[8-11]是一个经典的统计分析方法,灰度共生矩阵按影像灰度值的空间关系,描述像素点对之间的空间结构特征及其相关性,该方法为应用最广泛的纹理统计分析法,广泛应用于数字图像处理领域。本文将这种基于灰度共生矩阵的纹理特征分析方法应用到“嫦娥一号”拍摄的月球遥感影像纹理特征提取与分析。

本文中月球遥感影像纹理特征的刻画是由灰度共生矩阵计算出来的一系列特征量来表达的,定义了13种基于灰度共生矩阵的纹理特征参数来描述纹理特征^[12-16]:能量(E)、熵(H)、相关性(C)、逆差矩(IDM)、方差(VAR)、对比度(CON)、和平均(SAV)、和方差(SVA)、和熵(SH)、差方差(DVA)、差熵(DH)、相关信息测度1(CIE1)、相关信息测度2(CIE2)。为了获得影像在各个方向的纹理特征,取4个方向灰度共生矩阵的平均值作为影像的灰度共生矩阵。本文仅以能量和熵为例,列出其计算公式,能量用公式可以表示为

$$E = \sum_{i=1}^G \sum_{j=1}^G [p(i, j)]^2 \quad (1)$$

式中 $P(i, j)$ 为灰度共生矩阵, i, j 分别为离散灰度图的横、纵坐标值, G 为离散灰度图横、纵坐标的最大值。能量是图像灰度分布均匀性的度量,反映了图像灰度分布均匀程度和纹理粗细度,当图像灰度分布较均匀,纹理较细时,能量取值较大^[17-20]。

熵用公式可以表示为

$$H = -\sum_{i=1}^G \sum_{j=1}^G p(i, j) \log[p(i, j)] \quad (2)$$

熵值是图像所具有信息量的度量,是测量灰度级分布随机性的特征参数,表征了图像中纹理的复杂程度。图像的纹理越复杂,熵值则越大^[21-24]。

1.2 月球影像数据分析

实验所用影像数据来源于“嫦娥一号”拍摄的月球遥感影像(图1),实验所用影像图(图2(a))为图1中的红色圈定部分。将图2(a)作为研究区域,研究区域的月貌主要分为六类:“月海”、“类月海”、“月陆-平坦区”、“月陆-凹凸区”、“山脉”和“环形山”。

1.3 纹理特征参数的选择

要想得到很好的月貌分类效果,就需要优选出月貌分类识别敏感纹理特征参数。因此,根据6类月貌的纹理特征,筛选恰当的敏感纹理特征参数,并选择相应的最优窗口尺寸就尤为重要。

以纹理特征参数-能量、纹理特征参数-和方差为例,来说明如何进行纹理特征参数的筛选及相应的最优窗口尺寸的选择。用(3×3)像素到(31×31)像素的窗口尺寸来计算月貌的纹理特征参数-能量,得到研究区域(图2(a))的纹理特征参数-能量图,如图2所示。

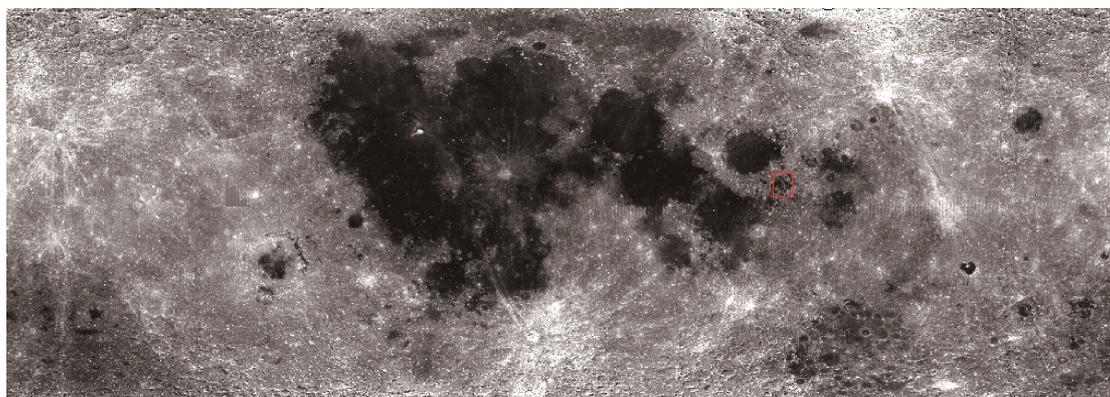
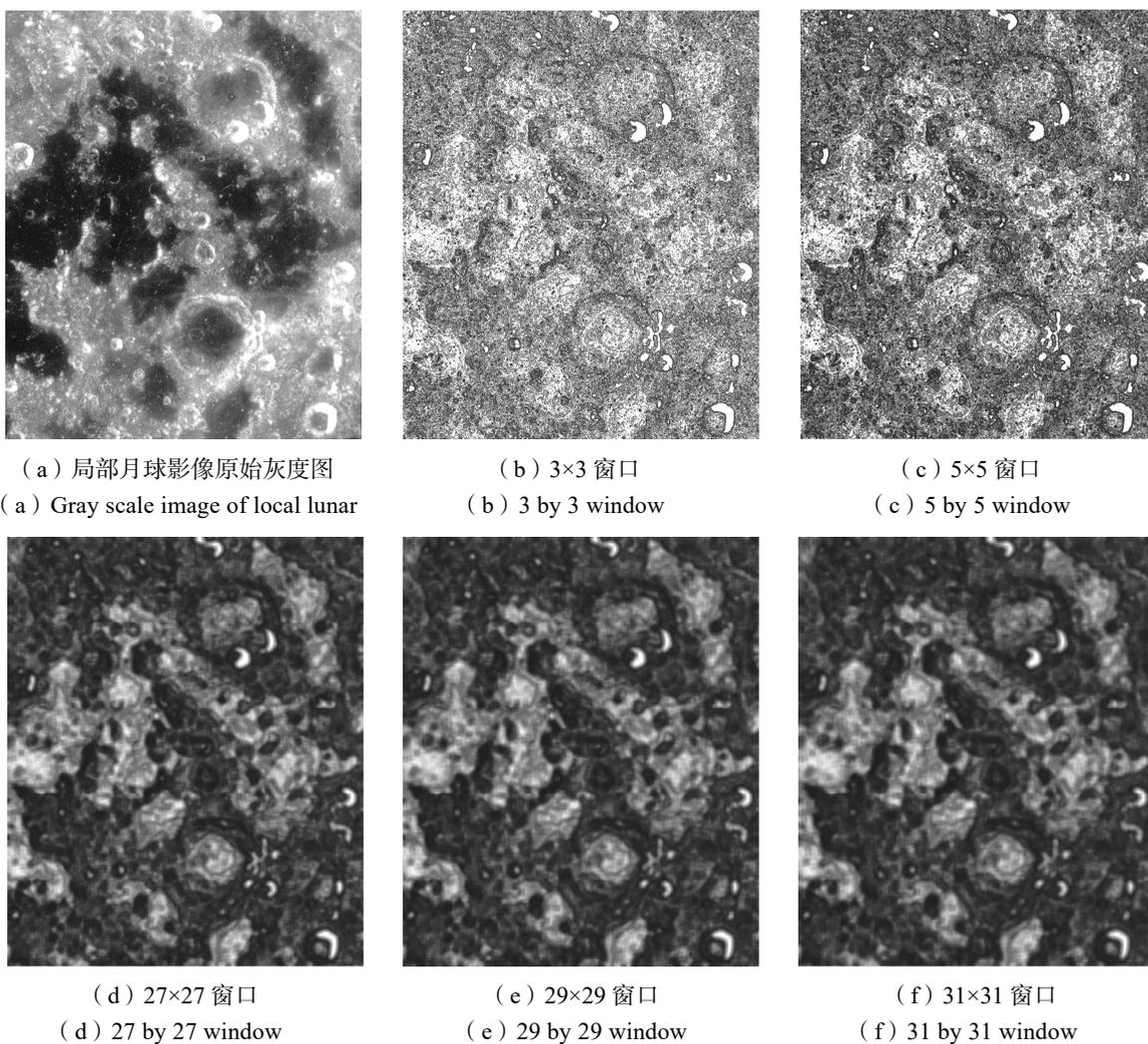


图 1 月球全球原始灰度图

Fig. 1 Primitive grayscale image of the whole lunar



(a) 局部月球影像原始灰度图
(a) Gray scale image of local lunar

(b) 3×3 窗口
(b) 3 by 3 window

(c) 5×5 窗口
(c) 5 by 5 window

(d) 27×27 窗口
(d) 27 by 27 window

(e) 29×29 窗口
(e) 29 by 29 window

(f) 31×31 窗口
(f) 31 by 31 window

图 2 纹理特征参数-能量图

Fig. 2 Texture feature-energy images

由于“月海”的纹理比其它 5 类月貌的纹理要细，因此“月海”的能量值大。6 类月貌的纹理由细到粗分别为“月海”、“类月海”、“月陆-平坦区”、“环形山”、“月陆-凹凸区”和“山脉”，即能量值由大到小。当窗口尺寸增大时，6 类月貌的纹理特征参数-能量值变小，纹理特征参数-能量的信

息渐渐损失,在窗口达到(31×31)像素时,“月陆-平坦区”、“环形山”、“月陆-凹凸区”和“山脉”这几类月貌的纹理特征参数-能量值相差不大,这几类月貌变得很难区分,并且随着窗口尺寸的增大,纹理特征参数-能量图也变得越来越模糊。因此,由图 2 可知,在提取纹理特征参数-能量时,窗口尺寸不能选择太大。在灰度图中选取已经明确分类的 6 类月貌样本,采用不同窗口尺寸来计算纹理特征参数-能量值,其大小随提取窗口尺寸的变化规律如图 3 所示。分析可知,在窗口尺寸为(3×3)像素时,“月陆-凹凸区”和“环形山”的能量值大小相近,两者的区分度不好。随着窗口尺寸的增大,“月陆-凹凸区”和“环形山”的区分度有变好的趋势,为了保证 6 类月貌有较好的区分度,窗口尺寸不应选择太小。为了较好地保留纹理特征参数-能量的信息,同时保证 6 类月貌在纹理特征参数-能量上有较好的区分度,最终采用(5×5)像素的窗口尺寸来提取纹理特征参数-能量,这样得到的效果是最好的。

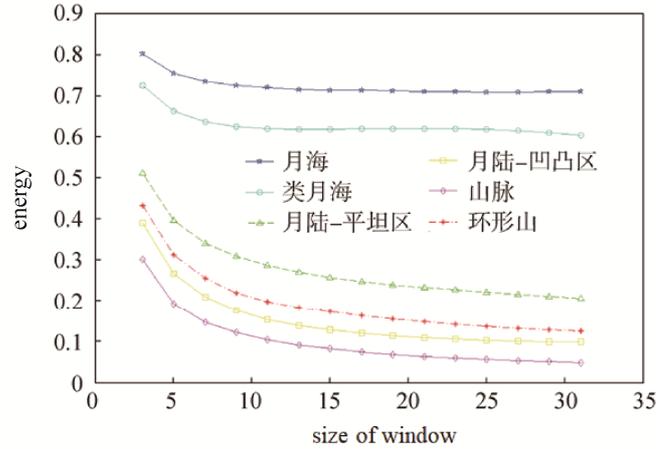


图 3 纹理特征参数-能量随着窗口尺寸增大的变化图
Fig. 3 Change of energy with window size

采用同样的方法,得到研究区域(图 2(a))的纹理特征参数-和方差随窗口尺寸增大的变化规律如图 4 所示,分析可知,“月海”和“类月海”的纹理特征参数-和方差曲线几乎重合,即两者的纹理特征参数-和方差值几乎是相等的。“月海”和“类月海”在纹理特征参数-和方差上区分不开,而本文要进行 6 类月貌的分类,所以舍弃纹理特征参数-和方差。

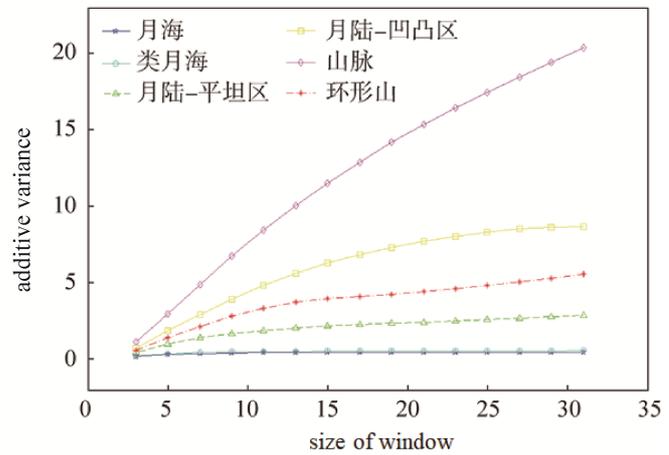


图 4 纹理特征参数-和方差随着窗口尺寸增大的变化图
Fig. 4 Change of additive variance with window size

采用同样的方法,对其余的 11 种纹理特征变量进行筛选提取。

最终选择的纹理特征参数和相应的提取这些纹理特征参数所用的最优窗口尺寸分别为:能量,计算能量值的窗口尺寸是(5×5)像素;熵,计算熵值的窗口尺寸是(9×9)像素;相关性,计算相关性值的窗口尺寸是(9×9)像素;逆差矩,计算逆差矩值的窗口尺寸是(3×3)像素;方差,计算方差值的窗口尺寸是(3×3)像素;对比度,计算对比度值的窗口尺寸是(3×3)像素;和平均,计算和平均值的窗口尺寸是(5×5)像素;和熵,计算和熵值的窗口尺寸是(9×9)像素;差方差,计算差方差值的窗口尺寸是(5×5)像素;差熵,计算差熵值的窗口尺寸是(5×5)像素。最后采用这 10 种纹理特征参数(用相应的最优窗口尺寸提取)来参与月球地貌的分类,这样处理一方面兼顾了月球地貌纹理特征信息的保留,另一方面也保证了 6 类月貌在纹理特征上有最好的区分度,这样处理的效果是最好的。

1.4 纹理特征参数的主成分分析

由于采用的 10 种纹理特征参数之间彼此存在着相关性,若直接采用这 10 种纹理特征参数参与月球地貌的分类,纹理信息量有较大重叠,同时也增大了分析研究问题的复杂性,所以本文采用主成分分析法对这 10 种纹理特征参数进行处理,以此来消除 10 种纹理特征参数之间的相关性,得到相互独立的新的主

成分变量。得到新的前两个主成分的累计贡献率已经超过了 80%，即用前两个新的主成分变量来反映 10 个纹理特征变量所提供的绝大部分的纹理特征信息已经足够了，所以本文只采用前两个新的主成分来参与月球地貌的分类，以避免月球地貌的纹理信息量的重叠使用，降低计算量，使分析问题变得简单。

2 月球地貌的贝叶斯分类

本文采用贝叶斯分类法来进行月貌分类，具体做法是选择上文得到的信息量大且相互独立的 2 个主成分（能反映 10 个纹理特征变量的绝大部分纹理特征信息），与月球影像灰度值组成 3 个参数，用这 3 个参数采用贝叶斯分类法对局部月球影像图（图 2（a））进行月貌分类，得到局部月球的地貌分类结果如图 5（a）所示。

单独用灰度值，根据灰度值范围进行人工划分 6 类月貌，得到的局部月球影像图（图 2（a））地貌分类结果如图 5（b）所示，分析可知，单独用灰度值进行 6 类月貌划分，得到的月球地貌分类结果很零散，且成果图中有错分现象，比如有些“类月海”被错分为“月海”（如图 5（b）中黑色圆框圈定部分）。

仅根据月球影像的灰度值，也采用贝叶斯分类法对其进行月貌分类，得到的局部月球影像图（图 2（a））地貌分类结果如图 5（c）所示，分析可知，仅根据灰度值采用贝叶斯分类法得到的月球地貌分类成果图的效果也不好，因为图 5（c）中有错分现象，比如有些“类月海”被错分为“月海”（如图 5（c）中黑色圆框圈定部分）。

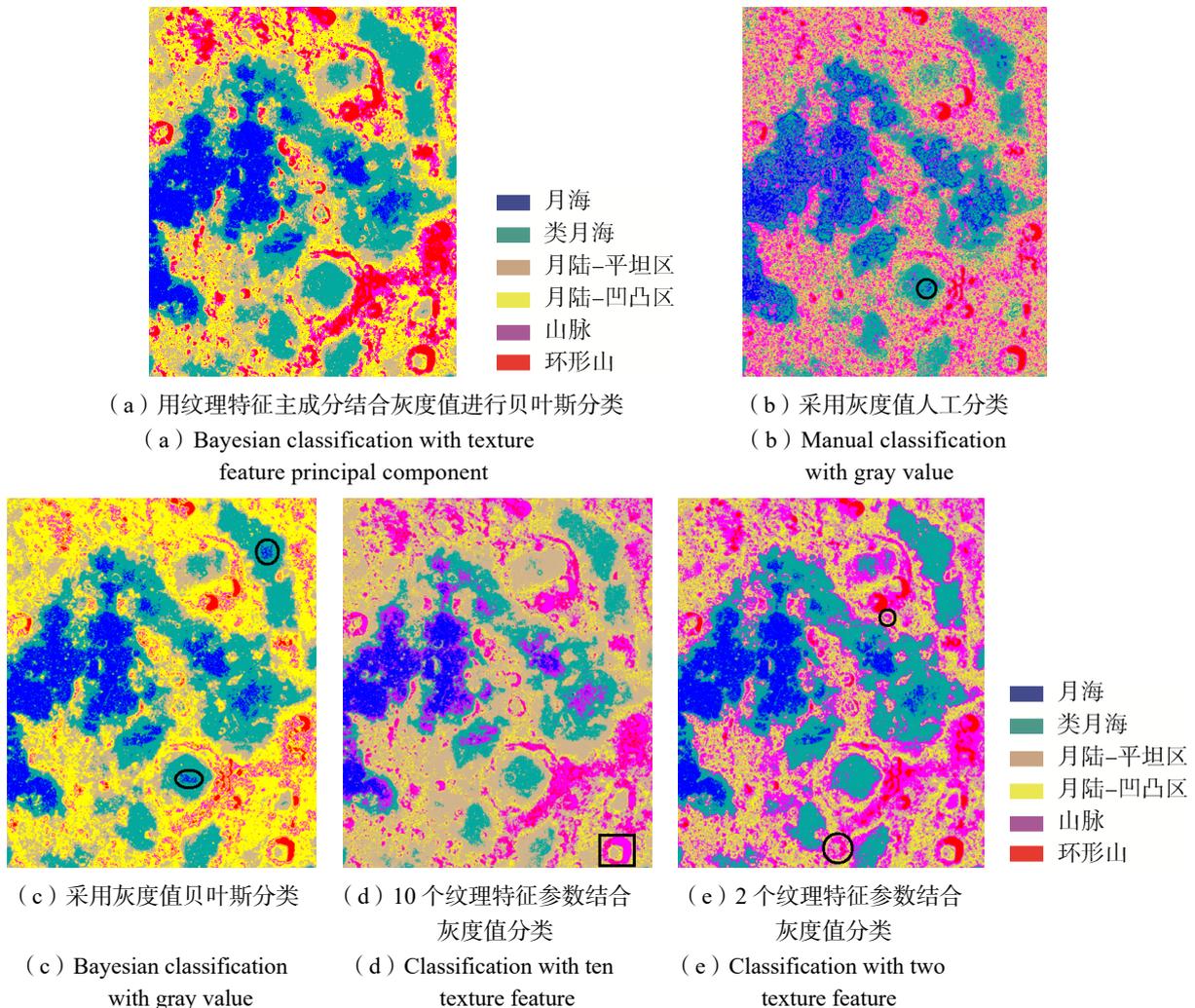


图 5 局部月球地貌分类成果图

Fig. 5 Classification results of local lunar landforms

若将月球影像的 10 个纹理特征参数(分别用相对应的最优窗口尺寸提取), 不采用主成分分析, 直接用这 10 个纹理特征参数与月球影像的灰度值组成 11 个参数, 用这 11 个参数运用贝叶斯分类法进行月球地貌的分类, 得到的局部月球影像图(图 2(a))地貌分类结果如图 5(d) 所示。分析可知, 月球地貌的分类效果不好, 如有些地方“环形山”被错分为“山脉”(如图 5(d) 中黑色方框圈定部分)。可能的原因是月球地貌的 10 个纹理特征参数之间有相关性且这种相关性很大, 导致月球地貌的分类效果不好。

若采用主成分分析法研究, 采用主成分变量贡献比重最大的二个纹理特征参数, 再辅以月球影像的灰度值, 最后运用贝叶斯分类法进行月球地貌分类, 得到的局部月球影像图(图 2(a))地貌分类结果如图 5(e) 所示, 月球地貌的分类效果同样不好, 图 5(e) 中有些地方的“环形山”被错分为“山脉”(如图 5(e) 中黑色圆框圈定部分)。

综合对比以上结果可知: 在以上所有的月球地貌分类成果图中, 图 5(a) 的月球地貌分类效果是最好的, 即选择信息量大并且相互独立的 2 个新主成分参数(能反映 10 个纹理特征参数的绝大部分纹理特征信息)与月球影像灰度值组成 3 个参数, 用这 3 个参数采用贝叶斯分类法进行月球地貌分类, 这种方法能最好地提取出月球表面的纹理特征。

采用同样的方法, 选择信息量大并且相互独立的 2 个新主成分参数与灰度值组成 3 个参数, 用这 3 个参数采用贝叶斯分类法进行月球地貌分类, 对“嫦娥一号”拍摄的月球全球原始灰度图(图 1)进行月貌划分, 得到月球全球的地貌分类结果如图 6 所示。由图 6 得到月球全球的 6 类月貌所占比重的饼图如图 7 所示。

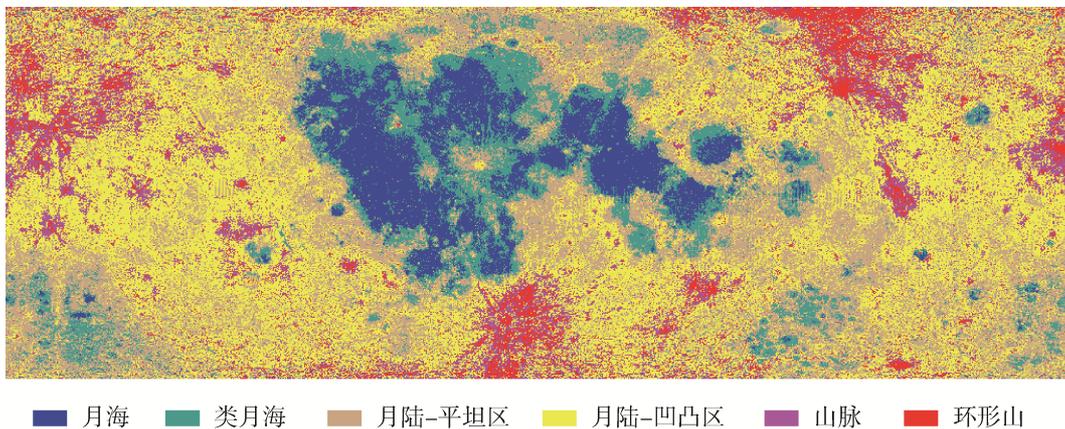


图 6 月球全球月貌分类成果图

Fig. 6 Image of the classified Lunar Landscape of the whole lunar

3 结束语

① 基于灰度共生矩阵计算得到的众多纹理特征变量能很好地提取出月球表面的月球地貌纹理特征信息。

② 利用纹理特征信息结合灰度值用贝叶斯分类法进行月球地貌划分能得到较好效果。

③ 单独用灰度值进行月球地貌划分时, 诸如光照强弱等因素的干扰会使得划分的环形山等月貌出现不连续现象, 而不管光照强度是强还是弱, 每种月貌的纹理特征是一定的, 所以利用月貌的纹理特征结合灰度进行月貌划分能避免诸如光照强度等因素的干扰。

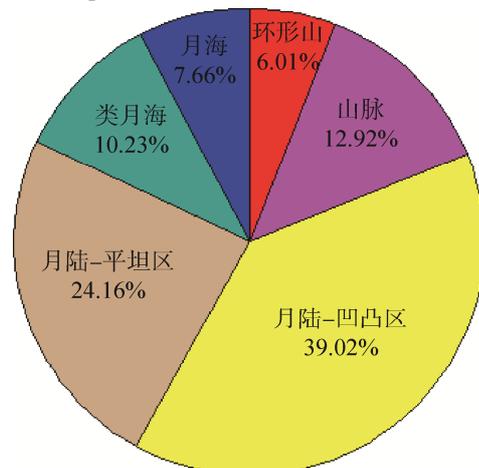


图 7 月球全球 6 类月貌所占比重的饼图

Fig. 7 Pie chart of 6 lunar landscape of the whole lunar

④ 根据实验结果来看,选择信息量大并且相互独立的2个新主成分参数(能反映10个纹理特征参数的绝大部分纹理特征信息)与月球影像灰度值组成3个参数,用这3个参数采用贝叶斯分类法进行月球地貌分类,这种方法能最好地提取出月球表面的纹理特征,得到的月球地貌分类效果是最好的。使用该方法最终完成了月球全球的月貌划分。

参考文献

- [1] 周廷刚, 郭达志, 盛业华. 灰度矢量多波段遥感影像纹理特征及其描述[J]. 西安科技学院学报, 2000, 3(4): 336-338.
ZHOU Tinggang, GUO Dazhi, SHENG Yehua. Texture features and description of gray vector multi band remote sensing image[J]. Journal of Xi'an University of science and technology, 2000, 3(4): 336-338.
- [2] 符志国, 陈康, 廖娟, 等. 贝叶斯机器学习在储层预测中的应用研究[J]. 物探化探计算技术, 2020, 42(3): 345-351.
FU Zhiguo, CHEN Kang, LIAO Juan, et al. The research of application of Bayesian machine learning in reservoir prediction[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 42(3): 345-351.
- [3] 路伟涛, 谢剑锋, 任天鹏, 等. 中国深空探测网干涉测量系统性能分析[J]. 遥测遥控, 2018, 39(6): 1-6.
LU Weitao, XIE Jianfeng, REN Tianpeng, et al. Performance analysis of China deep space net interferometry system[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2018, 39(6): 1-6.
- [4] 胡召玲, 李海权, 杜培军. SAR 图像纹理特征提取与分类研究[J]. 中国矿业大学学报, 2009, 38(3): 422-427.
HU Zhaoling, LI Haiquan, DU Peijun. Research on SAR image texture feature extraction and classification[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2009, 38(3): 422-427.
- [5] 霍红英, 朱正平, 刘义生, 等. 基于 GIS 的岩溶古地貌定量刻画方法分析研究[J]. 地理空间信息, 2021, 19(3): 55-59.
HUO Hongying, ZHU Zhengping, LIU Yisheng, et al. Analysis and research on quantitative description method for Karst paleogeomorphology based on GIS[J]. Geospatial Information, 2021, 19(3): 55-59.
- [6] 李敏剑, 王向伟, 刘佳伟. 多旋翼无人机在某测控设备标校工作中的应用[J]. 遥测遥控, 2021, 42(3): 26-33.
LI Minjian, WANG Xiangwei, LIU Jiawei. Application of multi-rotor UAV in a telemetry and control system's phase position calibration work[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2021, 42(3): 26-33.
- [7] 曹兢, 薛晓琴. 基于改进 TCAR 的高精度定位技术研究[J]. 遥测遥控, 2019, 40(2): 31-38.
CAO Jing, XUE Xiaoqin. Research on high precision positioning technology based on improved TCAR[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2019, 40(2): 31-38.
- [8] 李雪英, 李东庆, 白诗缘. 薄层研究方法综述[J]. 地球物理学进展, 2017, 29(5): 2197-2203.
LI Xueying, LI Dongqing, BAI Shiyuan. Review of thin layer studies[J]. Progress in Geophysics, 2017, 29(5): 2197-2203.
- [9] 孙荣荣. 基于灰度共生矩阵相似图的图像质量评价方法[J]. 计算机应用, 2020, 40(5): 177-179.
SUN Rongrong. Image quality assessment method based on similarity maps of gray level co-occurrence matrix[J]. Journal of Computer Applications, 2020, 40(5): 177-179.
- [10] 赵天东. 基于卡尔曼滤波器残差的矢量跟踪完好性研究[J]. 遥测遥控, 2021, 42(3): 21-25.
ZHAO Tiandong. Research on integrity technology of vector tracking using Kalman filter residual[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2021, 42(3): 21-25.
- [11] 李聪, 马勋, 杨锐, 等. 基于形状和纹理特征的正庚烷环形油池火特性[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2021, 61(6): 502-508.
LI Cong, MA Xun, YANG Rui, et al. Characterization of n-heptane annular pool fires based on flame shape and texture features [J]. Tsinghua Univ(Sci&Technol), 2021, 61(6): 502-508.
- [12] 王佐成. 基于纹理的遥感图像分类研究[M]. 成都: 西南交通大学工业出版社, 2007.
WANG Zuocheng. Research on remote sensing image classification based on texture[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2007.
- [13] HAAS A, DUBRULE O. Geostatistical inversion-A sequential method for stochastic reservoir modeling constrained by seismic data[J]. First Break, 1994, 13(12): 561-569.
- [14] DUBRULE O, THIBAUT M, LAMY P, et al. Geostatistical reservoir characterization constrained by 3D seismic data[J]. Petroleum Science, 1998, 43(4): 121-128.
- [15] ROTHMAN D H. Geostatistical inversion of 3D seismic data for thin-sand delineation[J]. Geophysics, 1998, 51(2):

- 332–346.
- [16] 禹健, 郝秀芳, 安永泉. 基于数字高程模型的月海地貌信息重建[J]. 测试技术学报, 2021, 35(2): 120–127.
YU Jian, HAO Xiufang, AN Yongquan. Automated detection of lunar craters based on feature points dynamic supply method[J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2021, 35(2): 120–127.
- [17] 尹艳树, 吴胜和, 张昌民, 等. 用多种随机建模方法综合预测储层微相[J]. 石油学报, 2006, 27(2): 68–71.
YIN Yanshu, WU Shenghe, ZHANG Changming, et al. Comprehensive prediction of reservoir microfacies by multiple stochastic modeling methods [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 27(2): 68–71.
- [18] 左绍山, 张振华, 邓志强, 等. 一种基于遗传算法的最小熵自聚焦方法[J]. 遥测遥控, 2021, 42(2): 61–68.
ZUO Shaoshan, ZHANG Zhenhua, DENG Zhiqiang, et al. Autofocus method based on the minimum-entropy criterion and Genetic Algorithm[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2021, 42(2): 61–68.
- [19] 张改革, 佟彦明. 水平井油藏建模统计偏差的处理方法与应用[J]. 非常规油气, 2020, 7(6): 57–64.
ZHANG Gaige, TONG Yanming. Study on dealing with data distribution bias using horizontal wells in reservoir modeling[J]. Unconventional Oil & Gas, 2020, 7(6): 57–64.
- [20] 蔡泽园, 鲁宝亮, 熊盛青, 等. 基于自适应核密度的贝叶斯概率模型岩性识别方法研究[J]. 物探与化探, 2020, 44(4): 919–927.
CAI Zeyuan, LU Baoliang, XIONG Shengqing, et al. Lithology identification based on Bayesian probability using adaptive kernel density[J]. Geophysical & geochemical exploration, 2020, 44(4): 919–927.
- [21] 金凤鸣, 刘力辉, 胡诚, 等. 地震岩性地貌体在薄储层沉积微相研究中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2017, 52(1): 173–180.
JIN Fengming, LIU Lihui, HU Cheng, et al. Application of seismic lithologic geomorphic body in the study of thin reservoir sedimentary microfacies [J]. Petroleum Geophysical Exploration, 2017, 52(1): 173–180.
- [22] 张繁昌, 肖张波, 印兴耀. 地震数据约束下的贝叶斯随机反演[J]. 石油地球物理勘探, 2014, 49(1): 176–182.
ZHANG Fanchang, XIAO Zhangbo, YIN Xingyao. Bayesian stochastic inversion constrained by seismic data [J]. Petroleum Geophysical Exploration, 2014, 49(1): 176–182.
- [23] 何泽新, 樊刘洋, 卫晓锋, 等. 基于地质建造和流域地貌的河北省承德蟠龙湖地区大比例尺地质遗迹调查[J]. 中国地质, 2020, 47(6): 1881–1893.
HE Zexin, FAN Liuyang, WEI Xiaofeng, et al. Large-scale survey of geological heritage in the Panlong Lake area of Chengde, Hebei Province: Based on geological formations and watershed landforms[J]. Geology in China, 2020, 47(6): 1881–1893.
- [24] 鞠卓亚, 王志海. 基于选择性模式的贝叶斯分类算法[J]. 计算机研究与发展, 2020, 57(8): 1605–1616.
JU Zhuoya, WANG Zhihai. A Bayesian classification algorithm based on selective patterns[J]. Journal of Computer Research and Development, 2020, 57(8): 1605–1616.

[作者简介]

万 钧 1984 年生, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为油藏数值模拟、油田动态分析和开发地质等。

(本文编辑: 潘三英)