

文章编号:1002-2082(2009)03-0423-04

月球表面遥感图像阴影消除及其信息恢复研究

李先华¹, 刘顺喜², 黄微¹, 罗庆洲³, 曾齐红¹, 黄睿¹, 时向勇¹

(1. 上海大学 通信与信息工程学院遥感与空间信息科学研究中心, 上海 200072;

2. 中国土地勘测规划院, 北京 100035; 3. 南京信息工程大学 遥感学院, 江苏 南京 210044)

摘要: 由于月球表面的地形起伏引起月面遥感图像像素与太阳相对位置和几何取向不一致, 导致月面遥感数字图像上阴影像素的产生。为了解决这一问题, 利用与遥感图像匹配的DEM和光照方位参数进行遥感图像的阴影判断, 基于DEM数据, 利用邻坡反射辐射, 进行自然地形条件下的月表遥感图像阴影像素的阴影消除, 恢复成太阳光谱照度相等(入射角, 反射角和距离相同)时的像素遥感值。仿真实验结果表明: 该方法较好地消除了月表影像的阴影, 充分恢复了月表影像的反射/光谱特征。

关键词: 月球表面; 遥感图像; 阴影消除; 邻坡反射

中图分类号: TN911.73; TP751

文献标志码: A

Shadow removal and information recovery for remote sensing images of lunar surface

LI Xian-hua¹, LIU Shun-xi², HUANG Wei¹, LUO Qing-zhou³, ZENG Qi-hong¹
HUANG Rui¹, SHI Xiang-yong¹

(1. Research Center of Remote Sensing and Spatial Information Science, Shanghai University, Shanghai 200072, China; 2. China Land Surveying and Planning Institute, Beijing 100035, China; 3. School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Since the undulate topography of the lunar surface leads to the variance of the lunar surface remote sensing image pixels with the sun relative location and geometry orientation, the shadow pixels of the lunar surface remote sensing digital images are produced. In order to solve the problem, the judgment of the shadow on remote sensing images was implemented by utilizing DEM matching with the remote sensing images and the parameters of illumination orientation. A method for shadow removal of lunar remote sensing images taken under the condition of the natural topography was developed using adjacent reflective radiation based on DEM data. The shadow pixels' remote sensing value can be rectified to the horizontal remote sensing value with same solar direct radiation. The simulation experiment result shows that the method can eliminate the shadow of lunar surface images and can thoroughly recover the reflection/spectrum characteristics of lunar surface images.

Key words: lunar surface; remote sensing image; shadow removal; adjacent reflected radiation

收稿日期:2008-09-27; 修回日期:2008-11-20

基金项目:国家自然科学基金(40771145);高等学校博士点基金项目(20070280011);国土资源部项目(KD081902-03)子课题;科技部公益性行业科研专项项目(GYHY20070628)

作者简介:李先华(1948—),男,四川人,教授,博士生导师,主要从事遥感与地理信息系统研究。

E-mail:lxhcn@yahoo.com.cn

引言

由于月球表面的地形起伏引起月面遥感图像像素与太阳相对位置和几何取向不一致,导致像素坡面上光辐射照度的差异改变了月面遥感数字图像上像素遥感值,从而导致了阴影像素的产生。阴影区表现在遥感图像上信息量相对较少,难以判读,在影像处理和工程应用中,影响操作进程,甚至产生错误结果。如何消除月球表面山体阴影及其信息恢复,是月球表面遥感数字图像处理与深入应用中尚未解决的难题。至今为止,现有正射图像处理技术,并没有从根本上解决这个重要的问题。因此,国内外所有公布的月球表面遥感图像无一例外地分布着地形阴影。

随着月球探测工程的发展,对月球表面地形及结构的研究成为当前研究的热点^[1]。我们利用月球表面激光测距定向数据生成的与月球表面遥感数字图像相匹配的数字地形图和数字地面模型,研究遥感图像像素遥感数值与像素邻坡反射的定量关系,利用邻坡反射辐射研究月球表面遥感数字图像阴影消除和信息恢复的原理方法,并使用计算机技术实现月球表面遥感数字图像的阴影消除仿真实验。

月球表面遥感数字图像的阴影消除是基于DEM数据,利用邻坡反射辐射进行自然地形条件下遥感数字图像阴影像素的消除,恢复成太阳光谱照度相等(入射角,反射角和距离相同)地面水平时的像素遥感值。在遥感图像上充分突出地表达月球表面地面(地物)的波谱特性(反射率)。本文将地球遥感图像阴影消除的方法^[2-8]引入月球研究,研究遥感图像像素遥感数值与像素邻坡反射的定量关系,研究月球表面遥感数字图像阴影消除的原理方法。

1 月球表面遥感图像阴影消除的原理

1.1 月球表面遥感图像像素辐射值

与地球相比,月球表面没有大气,遥感图像不存在大气影响。月球表面遥感图像像素地面光辐射照度主要由两部分组成:太阳直射光辐射照度和邻坡反射辐射照度。即

$$E_{ij} = E_{sij} + E_{rij} \tag{1}$$

式中 E_{ij} 、 E_{sij} 和 E_{rij} 分别为月球表面遥感图像像素接收的光辐射总照度、太阳直射光光照度分量和邻坡反射光照度分量。因此,月球表面遥感图像像素遥

感值也主要由两部分组成,太阳直射光分量遥感值和邻坡反射分量遥感值,即

$$DN_{ij} = DN_{sij} + DN_{rij} = K \cdot R_{ij} \cdot E_{ij} / \pi = K \cdot R_{ij} \cdot (E_{sij} + E_{rij}) / \pi \tag{1}$$

式中: DN_{ij} 、 DN_{sij} 和 DN_{rij} 分别为月球表面遥感图像像素遥感值,太阳直射光辐射遥感分量和邻坡反射辐射遥感分量; R_{ij} 为目标像素的反射率; K 为传感器增益系数。

1.2 遥感数字图像中的阴影判断

本文利用与遥感图像匹配的DEM和光照方位参数进行遥感图像的阴影判断。其判别原理如图1所示。对任意一个待判别像素,按照光线入射反方向进行搜索,逐点计算待判别像素与前方像素构成的地面高度角。如果该角度大于太阳高度角,则该像素为阴影,否则为非阴影像素。其中,高度角的计算公式为

$$\tan H_{ij} = (h_{KL} - h_{ij}) / S_{KL} \tag{3}$$

式中: h_{KL} 和 h_{ij} 分别为前方像素和待判别像素的高程; S_{KL} 为这两点间的直线距离。

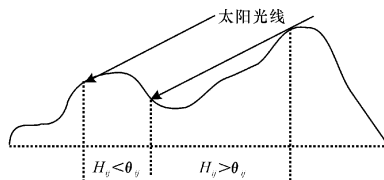


图1 阴影的判别

Fig. 1 Judgment of shadow

1.3 月球表面遥感图像像素邻坡反射辐射的计算

目标像素 P_{ij} 与某一邻坡反射点 P_{kl} 之间所成的立体角 Ω_{kl} 可根据图2由下式计算:

$$\Omega_{kl} = (S \cdot \cos \beta_{kl}) / d_{kl}^2$$

式中: S 为像素面积; β_{kl} 为邻坡反射点 P_{kl} 的入射光线与目标坡面像素 P_{ij} 法线向量的夹角; d_{kl} 为邻坡反射点 P_{kl} 到坡面像素 P_{ij} 的距离。

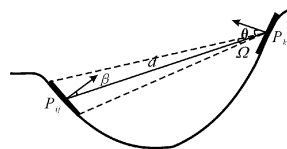


图2 邻坡反射点与目标像素的立体角

Fig. 2 Solid angle between target pixel and adjacent reflective point

P_{ij} 点的邻坡反射辐射照度为所有能够到达 P_{ij} 点的反射点作用之和,即

$$E_{rij} = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N \Phi_{kl} / S = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N L_{kl} \cdot S \cos \theta_{kl} \cdot \Omega_{kl} /$$

$$S = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N DN_{kl} \cdot \cos \theta_{kl} \cos \beta_{kl} / d_{kl}^2 \quad (4)$$

式中: M 、 N 分别为所有反射光可以到达目标像素 P_{ij} 的行列像素数; Φ_{kl} 为辐射通量; L_{kl} 为像素 P_{kl} 的亮度; θ_{kl} 为入射光线与反射像素 P_{kl} 法线向量的夹角(由无阴影像素的反射率反演得出)。在对应数字地形图上 β_{kl} 可以方便地通过计算 $P_{kl}P_{ij}$ 连线(两点式)与像素坡面 P_{ij} 及相邻两点决定的法线(点法式)的两直线交角得到。 θ_{kl} 可同理求得。

设 R_{ij} 为目标像素的反射率, 则邻坡反射辐射的遥感值可以表示为

$$DN_{rij} = K \cdot R_{ij} \cdot E_{rij} / \pi \quad (5)$$

1.4 月表像素反射率反演

在月球表面遥感图像中, 非阴影像素的反射率采用迭代算法来反演计算, 并逐步逼近其真值。由于非阴影像素上太阳直射光照度大大高于邻坡反射辐射照度, 首先设非阴影像素仅获得太阳直射光照度, 不考虑邻坡反射辐射进行地形改正反演非阴影像素的反射率; 然后利用此反射率计算目标像素的邻坡反射辐射亮度和邻坡反射辐射遥感值, 从目标像素总遥感值中除去邻坡反射遥感值后, 再重复进行地形改正反演目标像素的反射率, 直到反射率值的变化量逼近某一很小的常数。

1.5 月球表面遥感图像阴影消除

阴影像素的像素值完全是由邻坡反射辐射造成, 因此, 利用邻坡反射辐射和阴影像素辐射值可以获得阴影像素的反射率 R'_{ij} , 即

$$R_{ij} = \pi DN_{ij} / KE_{rij} \quad (4)$$

当阴影像素位于水平地表太阳直射时, 其太阳直射光辐射照度为 E'_{sij} , 可认为是一常数。因此, 阴影像素在太阳直射的水平地表的像素值为

$$DN'_{ij} = KR'_{ij} E'_{sij} / \pi \quad (5)$$

这就是阴影像素的校正公式。

对于少数地形阴影中的遥感数值为 0 (太阳光经过月面多次反射、吸收、衰减, 交叉反射辐射照度很小, 阴影像素月面反射信号很弱传感器无法检出) 的情况, 有一个近似的替代方案: 可以简单地用邻近的同类像素(根据热红外或微波特性判断)亮度值替代, 以完成月面遥感数字图像的地形阴影消除和信息恢复。阴影消除的具体流程如图 3 所示。

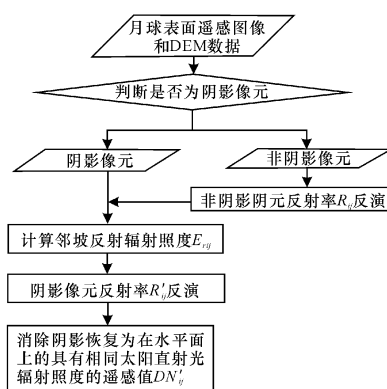


图 3 月球遥感图像阴影消除流程图

Fig. 3 Flow chart of shadow removal of lunar surface images

2 实验与分析

利用真实月表影像的试验如图 4 所示。图 4(a) 为 1994 年美国 Clementine 探月航天器获取的月表近红外影像; 4(b) 为对应的 DEM 数据(<http://astrogeology.usgs.gov/SolarSystem/Earth/Moon/>), 它们的空间分辨率均为 1 000 m; 利用文中月球表面遥感图像的阴影消除和信息恢复方法, 可以得到月球表面水平无阴影遥感图像, 结果如图 4(c) 所示。其中, 将遥感图像改正为水平图像, 可参考本作者其他文章。从试验结果可以看出, 本文提出的地

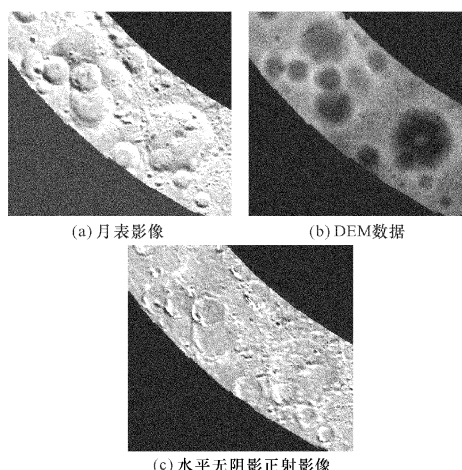


图 4 月球遥感图像阴影消除实验

Fig. 4 Experiment of shadow removal of lunar surface image

形改正方法能够很好地消除月表影像的阴影,充分恢复月表影像的反射/光谱特征。我们发现,在环形山边缘地区存在校正不足的现象,即部分边缘阴影无法恢复,这主要是由于DEM数据和影像匹配或DEM数据采样存在误差以及少数地形阴影中的遥感数值为0(太阳光经过月面多次反射、吸收、衰减,交叉反射辐射照度很小,阴影像素月面反射信号很弱传感器无法检出),同时缺乏对应微波和热红外遥感资料造成的。本文对影像校正前后阴影像素的亮度均值进行了统计,其结果如表1所示。可以看出,阴影像素的亮度值得到了较好的恢复,其亮度值接近整幅影像的亮度值,这表明本文提出的算法能够较准确地恢复阴影像素的真实信息。

表1 阴影像素亮度值比较

Table 1 Comparison of brightness values of shadow pixels

像素	阴影恢复前	阴影恢复后	整幅影像
亮度均值	67	159	161

3 结论

将月球表面遥感图像进行阴影消除和信息恢复,改正为地面水平时的像素遥感值,生成太阳光谱照度无差异无阴影的真正正射图像,在月面遥感信息中突出了月面物质的波谱特征。经改正后的月面遥感无阴影正射数字图像及其衍生的系列资料是自然界无法直接获取的月面重要信息。

参考文献:

- [1] 梁燕熙. 光学计量技术在月球探测工程中的作用[J]. 应用光学, 2006, 27(1): 1-4
LIANG Yan-xi. Application of optical metrology technique in moon exploration project[J]. Journal of Applied Optics, 2006, 27(1): 1-4. (in Chinese with an English abstract)
- [2] 黄微, 张良培, 李平湘. 一种考虑空间相关性的地形校正算法[J]. 测绘学报, 2006, 35(3): 285-290.
HUANG Wei, ZHANG Liang-pei, LI Ping-xiang. A topographic correction approach for radiation of RS images by using spatial context information[J]. Acta Geodetica et Cartographica Sinica, 2006, 35(3): 285-290. (in Chinese with an English abstract)
- [3] 黄微, 张良培, 李平湘. 一种改进的卫星影像地形校正算法, 中国图像图形学报, 2005, 10(9): 1124-1128.
HUANG Wei, ZHANG Liang-pei, LI Ping-xiang. An improved topographic correction approach for satellite image[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(9): 1124-1128. (in Chinese with an English abstract)
- [4] 李先华. 遥感信息的地形影响与改正[J]. 测绘学报, 1986, 15(2): 102-109.
LI Xian-hua. A radiometric correction of relief disturbances in the remote sensed data [J]. Acta Geodetica et Cartographica Sinica, 1986, 15(2): 102-109. (in Chinese with an English abstract)
- [5] 李先华, 黄雪礁, 池天河, 等. 卫星遥感数据的地表直射光辐射计算与改正[J]. 遥感技术与应用, 1993, 8(2): 1-9.
LI Xian-hua, HUANG Xue-qiao, CHI Tian-he, et al. Computation and correction of direct solar radiance for satellite remotely sensed data [J]. Remote Sensing Technology and Application, 1993, 8(2): 1-9. (in Chinese with an English abstract)
- [6] 李先华, 黄雪礁, 池天河, 等. 卫片像元太阳高度角和方位角的计算原理与方法[J]. 测绘学报, 1993, 22(2): 149-154.
LI Xian-hua, HUANG Xue-qiao, CHI Tian-he, et al. Computation of solar elevations and azimuths at pixels of satellite image [J]. Acta Geodetica et Cartographica Sinica, 1993, 22(2): 149-154. (in Chinese with an English abstract)
- [7] 李先华, 黄雪礁, 王小平, 等. 卫星遥感数据的像元地面反射率反演计算[J]. 环境遥感, 1993, 8(4): 306-313.
LI Xian-hua, HUANG Xue-qiao, WANG Xiao-ping, et al. Inverse computation of ground albedo from remotely sensed data [J]. Remote Sensing of Environment, 1993, 8(4): 306-313. (in Chinese with an English abstract)
- [8] 李先华, 章皖秋, 徐丽华, 等. GIS支持下像元地面方向反射几何参数计算[J]. 电波科学学报, 2004, 19(4): 485-491.
LI Xian-hua, ZHANG Wan-qiu, XU Li-hua, et al. Principles and methodology for geometrical parameter calculation of BRDF by GIS [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2004, 19(4): 485-491. (in Chinese with an English abstract)