

邻坡反射辐射对地物反射率计算的影响评估

罗庆洲¹ 李先华² 梅安新³

(1 南京信息工程大学遥感学院, 南京市宁六路 219 号, 210044)

(2 上海大学通信与信息工程学院, 上海市延长路 149 号, 200072)

(3 华东师范大学资源与环境科学学院, 上海市中山北路 3663 号, 200062)

摘要: 采用朗伯体经验模型计算邻坡反射辐射, 并建立其对目标像元反射率计算影响的评估模型。研究表明, 忽略邻坡反射辐射将造成目标像元反射率的计算值偏高, 尤其在低照度区域易导致光学遥感影像地形辐射校正出现过饱和现象。研究证实, 雪的可见光近红外波段的邻坡反射辐射、植被的近红外波段的邻坡反射辐射对目标像元反射率计算的影响显著, 对地形遮蔽度大的目标像元可产生 10% 以上的反射率相对误差。

关键词: 邻坡反射辐射; 遥感; 反射率; 地形辐射校正

中图分类号: P237.3

在平坦地形上, 忽略地表和大气之间的多次反射, 地表接收的入射总辐射可分为太阳直接辐射和天空下行散射辐射两部分; 而在地形起伏的山区, 由于地形的影响, 到达地表的入射辐射中又增加了周围地形的邻坡反射辐射(亦称地形反射辐射)^[1-3]。通常情况下, 邻坡反射辐射与直接辐射、散射辐射相比, 仅是总辐射之中的微量分项, 在部分研究中也常将此微量分项忽略^[4,5]。但是, 邻坡反射辐射与周围地物的反射率、入射辐射及地形等因素密切相关, 在某些情况下其值较大^[6-8], 主要有: ① 周边为高反射率冰雪覆盖区的邻坡反射辐射分量较大; ② 周边为近红外高反射率植被覆盖区的邻坡反射辐射分量也较大; ③ 阴影区域的邻坡反射辐射占总辐射的比例大, 即其相对值较大。

地物反射率是遥感影像判识、解译的重要依据之一^[9]。只有邻坡反射辐射分量对反射率计算的影响程度足够小时, 才可以将其忽略, 否则将影响遥感应用的精度。本文探讨了邻坡反射辐射对地物反射率计算的影响, 评估了雪、植被等典型地物环境下产生的邻坡反射辐射对目标像元反射率计算的影响。

1 邻坡反射辐射对反射率计算影响的评估模型

1.1 邻坡反射辐射的计算模型

严格的邻坡反射辐射来源于周围各可视地表单元对中心地表单元的反射辐射的贡献值之和, 但当周围地物基本均一时, 常被采用的是具有可操作的一次反射的朗伯体经验模型^[10-12]:

$$E_R = \rho_{\text{adj}} \cdot E \cdot V \quad (1)$$

式中, E_R 为目标像元接收的邻坡反射辐射照度; ρ_{adj} 为邻近地表单元的平均反射率(或均质地物的反射率); E 为到达平坦地表的总辐射照度(直接辐射与散射辐射之和); V 为目标像元的地形遮蔽度, 理论上其值在 $[0, 1)$ 区间, 平坦地表时为 0, 随地形遮蔽程度的提高, 其值也增加; 当 V 达到 0.3~0.4 左右时, 已经是明显的峡谷、谷地等, 故本文在分析时, 取其最大值为 0.4。

1.2 对反射率计算影响的评估模型

计算反射率需要获取地面入射的总辐射, 在复杂地形环境下, 还需要考虑地形对各入射辐射分量的影响^[3, 13]。本文采用余弦模型计算坡面直接辐射, 各向同性模式计算坡面散射辐射。为了

分析邻坡反射辐射对反射率计算的影响,分别计算忽略邻坡反射辐射条件下的目标像元反射率 ρ (见式(2))与考虑一次邻坡反射辐射的目标像元反射率 ρ' (见式(3)),并比较两者之间的相对误差,以建立邻坡反射辐射对目标像元反射率计算影响的评估模型:

$$\rho = \frac{\pi L}{E_S + E_D} = \frac{\pi L}{E_S^h(\cos i / \cos Z_s) + E_D^h(1 - V)} \quad (2)$$

$$\rho' = \frac{\pi L}{E_S + E_D + E_R} = \frac{\pi L}{E_S^h(\cos i / \cos Z_s) + E_D^h(1 - V) + E_{\rho_{\text{adj}}} V} \quad (3)$$

式中, L 为目标像元的辐射亮度值; E_S 、 E_D 与 E_R 分别表示坡面接收的直接辐射照度、散射辐射照度与邻坡反射辐射照度; E_S^h 、 E_D^h 分别表示平坦地表接收的直接辐射照度与散射辐射照度; i 是太阳入射光线和坡面法线构成的光线入射角; Z_s 是太阳天顶角。式(2)与式(3)分母中的第一项、第二项分别表示坡面接收的直接辐射照度、散射辐射照度,其中 $\cos i / \cos Z_s$ 反映了坡面地形对直接辐射的影响; $1 - V$ 表示目标像元在各向同性模式下的天空开阔度,即起伏地表接收到的大气散射辐射通量密度与半球范围内散射辐射通量密度的比值^[14]。

在成像时刻的特定大气环境下,平坦地表接收的直接辐射照度、散射辐射照度占其总辐射一定比例^[15],本文记平坦地表的直接辐射照度占总辐射照度的比例为 R (直射总辐射比),即

$$E_S^h = ER, E_D^h = E(1 - R) \quad (4)$$

将式(4)代入式(2)、式(3),可得目标像元反射率的相对变化误差 δ_ρ :

$$\delta_\rho = \frac{\rho - \rho'}{\rho} = \frac{\rho_{\text{adj}} V}{R(\cos i / \cos Z_s) + (1 - R)(1 - V)} \quad (5)$$

2 邻坡反射辐射对反射率计算的影响分析

2.1 理论分析

式(5)说明忽略邻坡反射辐射造成目标像元反射率的计算值偏高。目标像元的周边地表均一的前提下,造成目标像元反射率的相对误差与周边地物的反射率呈线性正相关,与目标像元的地形遮蔽度呈非线性正相关。反射率的相对误差与 $\cos i / \cos Z_s$ 值呈负相关,这证实了低照度区(包括太阳入射角较大的区域与阴影区)反射率的计算易受邻坡反射辐射分量的影响。低照度区域接收到的邻坡反射辐射占总辐射的比例较大,其反射

率反演计算对邻坡反射辐射的贡献敏感。这也导致了在地形辐射校正中应用直射光与散射光为主的模型在低入射角地区特别是阴影地区的校正效果并不理想,常常会出现校正过饱和现象(反射率超过 100% 或 DN 过度偏高)^[5, 16]。

图 1 显示了忽略邻坡反射辐射造成的目标像元反射率相对误差与周边地物反射率、地形遮蔽度的关系。需要说明的是, $\cos i / \cos Z_s$ 的取值范围较大,此处简化分析视目标像元为水平的情况(即坡面不影响直接辐射,取其值为 1),在实际应用中,若获知地形与成像时的太阳角度,则可计算该值;在特定大气环境下,直接辐射照度比例随着太阳天顶角的减小有上升的趋势^[15],在可见光近红外成像遥感中,通常太阳天顶角较小,直接辐射占总辐射的比例较大,故图 1 中取平坦地表的直射总辐射比 $R = 0.75$ 。对于其他取值情况,计算原理类似。根据前述的朗伯体假设,图 1 表明,在地形遮蔽明显的峡谷、谷地区域(如地形遮蔽度达 0.3~0.4),若存在高反射率的周边地物(如反射率达 70% 以上),将对目标像元的反射率计算有 20%~30% 的影响。图 1 中的过饱和线表示目标像元与周边像元为均一地物时($\rho' = \rho_{\text{adj}}$),在地形辐射校正等研究中出现目标像元反射率的计算值超过 100% 的过饱和现象。

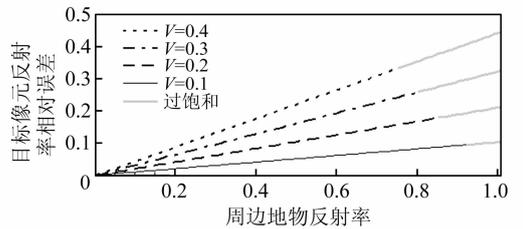


图 1 忽略邻坡反射辐射造成的反射率相对误差

Fig. 1 Overestimation of Target Reflectance if Neglecting Radiance Reflected from Neighboring Slopes

2.2 典型地物环境产生的邻坡反射辐射分析

本文选取积雪、落叶林为冰雪与植被的典型环境代表,分析了这两类地物产生的邻坡反射辐射对目标像元反射率计算的影响。采用美国约翰霍普金斯大学提供的地物波谱数据(<http://asterweb.jpl.nasa.gov/speclib/>),选取上述两种地物 0.4~1.1 μm 的反射波谱曲线。取直射总辐射比 $R = 0.75$, $\cos i / \cos Z_s = 1$,根据式(5)计算不同地形遮蔽度下两类地物产生的邻坡反射辐射对目标像元反射率计算的影响(见图 2)。

图 2(a)显示雪在可见光与近红外波段具有高反射率,反射率在 81%~99% 之间,当地形遮蔽度大于 0.2 时,忽略该辐射分量可造成目标像元反射

率的计算值偏高 15% 以上。落叶林在可见光波段的反射率较小,到近红外波段骤然上升至 0.5 左右,故在近红外波段,落叶林产生的邻坡反射辐射明显,当地形遮蔽度达 0.2 以上时,忽略其邻坡反射辐射可造成目标像元反射率被过高估算 10% 以上。

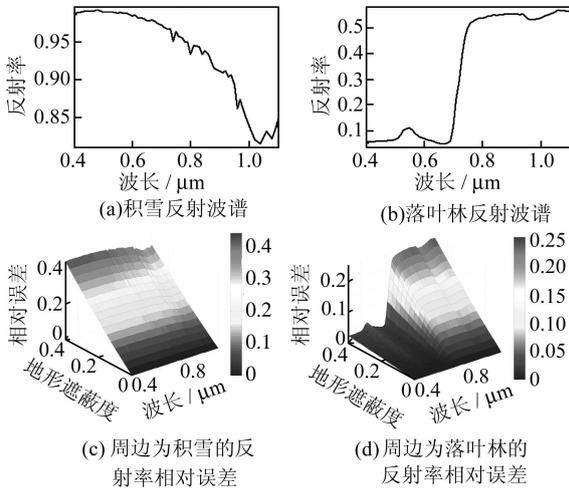


图 2 典型环境下邻坡反射辐射对目标反射率计算的影响

Fig. 2 Overestimation of Target Reflectance in Typical Environments

3 结 语

本文以地物朗伯反射为假设分析了均质地物环境下产生的邻坡反射辐射,建立了目标像元反射率相对误差计算模型。研究结果验证了在低照度区域,邻坡反射辐射的影响更加明显,且容易导致目标像元反射率计算值出现过饱和的现象。

在实际环境中,若目标像元所处的周围地表环境复杂,需要逐像元计算周边像元对目标像元的邻坡反射辐射,求得各像元的贡献和才可进一步评估邻坡反射辐射对目标像元反射率计算的影响。若采用非朗伯体假设,还需要考虑地物双向性反射率分布函数的特性,这有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 李先华,黄微,罗庆洲,等. 月球表面遥感图像的地形辐射改正原理研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2010(10): 1 197-1 201
- [2] 闫广建,朱重光,郭军,等. 基于模型的山地遥感图像辐射订正方法[J]. 中国图像图形学报, 2000(1): 14-18
- [3] 傅抱璞. 山地气候[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 270
- [4] 李先华. 遥感信息的地形影响与改正[J]. 测绘学报, 1986(2): 102-109
- [5] Meyer P, Itten K I, Kellenberger T, et al. Radiometric Corrections of Topographically Induced Effects on Landsat TM Data in an Alpine Environment[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1993, 48(4): 17-28
- [6] Proy C, Tanre D, Deschamps P Y. Evaluation of Topographic Effects in Remotely Sensed Data[J]. Remote Sensing of Environment, 1989, 30(1): 21-32
- [7] Bruhl C, Zdunkowski W. An Approximate Calculation Method for Parallel and Diffuse Solar Irradiances on Inclined Surfaces in the Presence of Obstructing Mountains or Buildings[J]. Archives for Meteorology Geophysics and Bioclimatology Series B—Theoretical and Applied Climatology, 1983, 32(2/3): 111-129
- [8] Kimes D S, Kirchner J A. Modeling the Effects of Various Radiant Transfers in Mountainous Terrain on Sensor Response[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1981, 19(2): 100-108
- [9] 樊辉,黄海军,唐军武. 黄河口水体光谱特性及悬沙浓度遥感估测[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007,32(7): 601-604
- [10] Sirguey P. Simple Correction of Multiple Reflection Effects in Rugged Terrain[J]. International Journal of Remote Sensing, 2009, 30(4): 1 075-1 081
- [11] Sandmeier S, Itten K I. A Physically-Based Model to Correct Atmospheric and Illumination Effects in Optical Satellite Data of Rugged Terrain[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1997, 35(3): 708-717
- [12] Barry R G. Mountain Weather and Climate[M]. London: Methuen, 1981: 313
- [13] Riano D, Chuvieco E, Salas J, et al. Assessment of Different Topographic Corrections in Landsat-TM Data for Mapping Vegetation Types (2003)[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(5): 1 056-1 061
- [14] Dozier J, Frew J. Rapid Calculation of Terrain Parameters for Radiation Modeling from Digital Elevation Data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1990, 28(5): 963-969
- [15] Reeves R G. Manual of Remote Sensing[M]. Beijing: National Defence Industrial Press, 1979: 280
- [16] Gu D G, Gillespie A R, Adams J B, et al. A Statistical Approach for Topographic Correction of Satellite Images by Using Spatial Context Information [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999, 37(1): 236-246

第一作者简介:罗庆洲,博士,主要从事遥感信息处理、GIS开发与气象应用等研究。
E-mail:luofirst@126.com

Impact Evaluation of Neglecting Radiance Reflected from Neighboring Slopes on Calculating Target Reflectance

LUO Qingzhou¹ LI Xianhua² MEI Anxin³

(1 School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science and Technology, 219 Ningliu Road, Nanjing 210044, China)

(2 School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, 149 Yanchang Road, Shanghai 200072, China)

(3 School of Resources and Environment Science, East China Normal University, 3663 North Zhongshan Road, Shanghai 200062, China)

Abstract: The radiance reflected from neighboring slopes is calculated with an empirical Lambertian model. An assessment model is developed to analyze relative error of target reflectance when neglecting incoming irradiance is neglected from surrounding terrain which will cause the reflectance of target pixel to be overestimated. The overestimation of reflectance will be stronger in shaded areas, which could bring more saturation value in topographically corrected image. The results show that radiance reflected from neighboring vegetation in near-infrared spectrum and neighboring snow in the visible and near-infrared spectrum should be accounted when we compute the reflectance of targets. Especially in the case of deep valleys, the overestimation of target reflectance could be more than 10% when the radiance is neglected.

Key words: radiance reflected from neighboring slopes; remote sensing; reflectance; topographic correction

About the first author: LUO Qingzhou, Ph.D, majors in remote sensing image processing, GIS software development and atmosphere application.

E-mail: luofirst@126.com

.....
(上接第 914 页)

Preserving Polarimetric Scattering Characteristics Classification by Introducing Normalized Circular-pol Correlation Coefficient

YANG Jie¹ ZHAO Lingli¹ LI Pingxiang¹ LANG Fengkai¹

(1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: Buildings being not orthogonal to the light of sight of SAR are often marked as volume scattering in the three-component decomposition. A new unsupervised classification algorithm is proposed by introducing normalized circular-pol correlation coefficient, which can improve the discernment of non-reflection symmetric structure on the basis of three-component decomposition. The experiment using E-SAR L band PolSAR image around DLR proves the effectiveness of the proposed method.

Key words: polarimetric synthetic aperture radar(PolSAR); three-component decomposition; normalized circular-pol correlation coefficients(NCCC); unsupervised classification

About the first author: YANG Jie, professor, Ph.D, Ph.D supervisor, majors in PolSAR image processing.

E-mail: yangjie@lmars.whu.edu.cn