

Experiment measurement and research of bidirectional reflectance distribution for cement and asphalt surface

Ningjuan Ruan¹, Kecheng Pan², Kun Xing¹, Huajun Feng², Qi Li^{2,3}

¹ Beijing Institute of Space Mechanics & Electricity, Beijing, China, 100094

² State key lab of modern optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou, China, 310027

³ Hangzhou Zhida Electro-Optical Co., Ltd, Hangzhou, China, 310013

Abstract. In remote sensing imaging, there are two factors, which cause differences in radiation under different imaging mode, the first reason is the atmospheric transmission, and the second reason is difference of reflection in ground objects. For the atmospheric transmission, a lot of atmospheric transport models have been proposed, and some professional atmospheric correction software have been released. For the reflection difference, researchers need to study the light reflectance characteristics of various objects in the earth surface. Based on measurement result of reflectance, this paper adopted an improved bidirectional reflectance distribution model and derive coefficient suitable for the cement ground from parameter fitting. The calculated data of relative reflectance distribution using improved theoretical model are more similar to measured results, and the model is suitable for asphalt ground also.

Keywords: Reflection difference, reflectance measurement, remote sensing, rough earth surface

水泥与沥青地表双向反射率分布的实验测量与研究

阮宁娟¹, 潘柯丞², 邢坤¹, 冯华君², 李奇^{2,3}

¹北京空间机电研究所, 北京, 100094

²浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 杭州, 310027

³杭州志达光电有限公司, 杭州, 310013

中文摘要.在遥感成像中, 有两个因素会导致不同的成像模式下的辐射差异, 第一个原因是大气传输, 第二个原因是地表物体的反射率差异。对于大气传输, 人们已提出很多大气传输模型, 也有一些专业的大气校正软件。对于反射率差异, 研究人员需要研究地球表面各种物体的反射特性。基于实际测量结果, 本文使用了一种改进的双向反射率分

布模型, 用参数拟合的方法推导出适用于水泥地面的模型系数。改进的理论模型计算所得的相对反射率分布数据更接近于实际测量结果, 进一步的实验表明, 该模型也适用于沥青地面。

关键词: 辐射差异; 反射率测量; 遥感成像; 粗糙地表

1. 引言

在遥感成像过程中,目标场景对遥感成像质量有很大的影响,由于目标场景的复杂性和多样性,一般将其影响归结为双向反射率的差异;基于地物的双向反射分布函数,计算出各个方向的反射率分布,就可以校正遥感成像辐射差异,有助于遥感像质的提升。双向反射率分布可以从辐射传输模型、几何光学模型及经验/半经验模型等角度进行描述。

辐射传输是根据电磁场理论,按所研究表面的基本特征设置边界条件,之后求解方程。这种理论将地面物体(地物)抽象为粗糙表面,这种表面在太阳直射导致的平行光和空气散射导致的杂散光等的照射下所产生的散射波就构成它在遥感成像中的双向发射率分布。表面的散射特性是由它的几何和电介质特性决定的。鉴于实际问题的复杂性,只有当粗糙表面参数、电介质和电磁波的频率符合某些条件时才会得到令人满意的解。

几何光学模型则是将实际物体的粗糙表面根据自身的统计特性被抽象为由许多数学上可描述的小面元构成的拼接体。构成物体表面的小面元与地物的表面正切并且遵守菲涅尔反射定律,它们的统计结果就构成了随机粗糙表面的光散射特性。与表面的菲涅尔反射函数、遮蔽函数以及小面元的分布函数有关的镜反射项以及服从朗伯散射定律的漫反射项两者线性组合得到的数学公式即为几何光学模型。目前已有的典型几何光学模型包括:用来模拟粗糙表面反射的Oren-Nayar模型[1]、用来模拟富含粉末表面反射的Hapke模型[2]、用来模拟有遮挡的植物冠层反射的Strahler&Jupp模型[3]等。

物理模型的确能得到精确的结果,并且有很强的理论依据,但是实际物体的表面的复杂性是难以估量的并且有很多的中间结构表面,并不是都能够与其所基于的一系列假设相符合,因此其应用范围有限。于是人们提出许多经验/半经验模型以解决上述问题[4]-[6]。

本文根据经验/半经验模型,以水泥与沥青地面为实验对象,在多种太阳天顶角下进行双向反射率测量,利用基本函数构造出

的数学模型,并根据实验数据进行拟合进而修改基本函数的类型和参数,构造出反射率分布模型,并验证了模型的有效性。

2. 实验方案

本文采用柯尼卡美能达公司生产的T-10/T-10M型照度计改进后作为接收仪器,配合使用曼富图055XPROB三角架组合808RC4三维云台进行不同角度的测量。当太阳以一定的天顶角 θ_i 入射到地面上的考察区域,接收器在一定的方位上接收,这个方位通过两个参数来描述:天顶角 θ_r ,以及接收器相对于太阳光的相对方位角 φ 。接收器获得的数据为地面上某一区域反射来的光通量 A_r ,同时使用照度计测得考察区域上接收到的太阳光的照度为 a_0 ,这一区域面积为 S ,相对于接收器有较小的空间角。那么该区域向着接收器所在方位的反射率为 $f(\theta_i, \theta_r, \varphi)$

$$f(\theta_i, \theta_r, \varphi) = \frac{A_r}{a_0 \cdot S \cdot \cos \theta_i} \quad (1)$$

然后以接收器天顶角为0度相对方位角也为0度时的反射率为标准计算其余方位下的反射率与它的比值,得到相对反射率。

3 实验过程与结果

选择晴朗、能见度高的天气,在水泥空地上选出一块区域,分别在不同的时间段,太阳天顶角不同时测得若干组数据。经过实验分别得出太阳天顶角为52度,61度,68度时的数据。经过插值使传感器天顶角以及方位角的每一个整数取值上都有对应的取值;然后计算出各方位上的反射率值;最后以天顶角为0度相对方位角也为0度时的反射率为标准求出各方位的相对反射率分布。

同时根据实测数据求出三种典型的经验/半经验模型(Staylor&Suttles模型[7]、Walthall模型[8][9]、五参数模型[10])的参数,并将参数代入理论模型求出相对反射率分布。

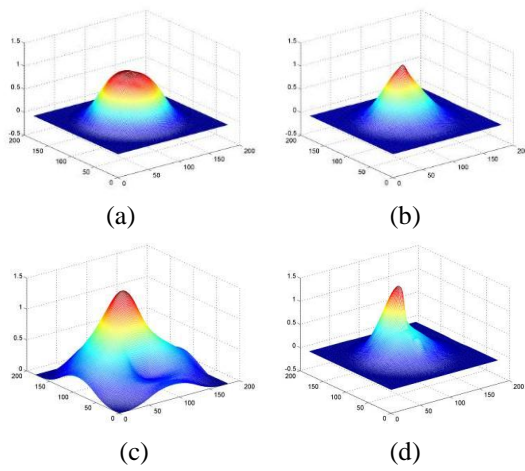


图1 太阳天顶角为52度时相对反射率分布

- (a) 实测的相对反射率分布
- (b) Staylor&Suttles模型反射率分布
- (c) Walthall模型反射率分布
- (d) 五参数模型反射率分布

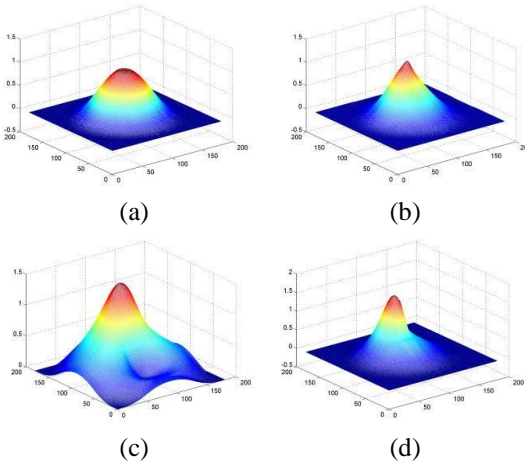


图2 太阳天顶角为61度时反射率分布

- (a) 实测的相对反射率分布
- (b) Staylor&Suttles模型反射率分布
- (c) Walthall模型反射率分布
- (d) 五参数模型反射率分布

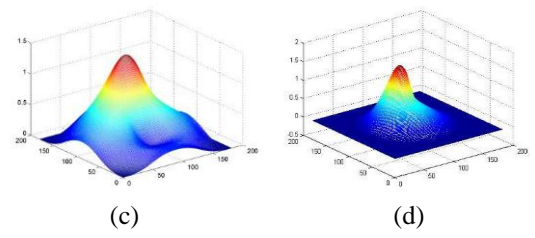
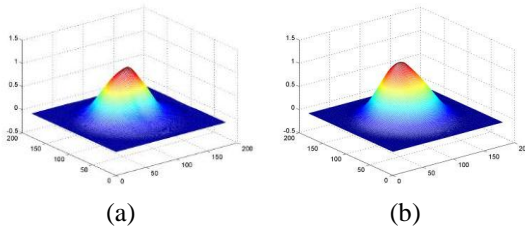


图3 太阳天顶角为68度时反射率分布

- (a) 实测的相对反射率分布
- (b) Staylor&Suttles模型反射率分布
- (c) Walthall模型反射率分布
- (d) 五参数模型反射率分布

从反射率分布图可以看出在上述这三种理论模型中Staylor&Suttles模型相对来说有较高的准确度,从趋势上看当太阳天顶角较小时理论模型与实测数据之间的误差较小。但即便是Staylor&Suttles理论模型,仍与实测数据有较大的误差。

4 模型改进

我们将模型基本形态与实测数据所得的反射率分布图形进行反复比较,采用如下的函数形式:

$$f(\theta_i, \theta_r, \varphi) = p_1 \left(\theta_i^3 + (\theta_r - p_5)^3 \right) + p_2 \left(\theta_i^2 \cdot (\theta_r - p_5) + \theta_i (\theta_r - p_5)^2 \right) \cos \varphi + p_3 \left(\theta_i^2 + (\theta_r - p_5)^2 \right) \cdot \cos \varphi + p_4 \cdot \theta_i (\theta_r - p_5) \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

这种形式加入了天顶角的三次方,使形态更为丰富,同时加入传感器方位角的平移量,通过拟合可以得出合适的平移参数,使得模型最大值的位置根据太阳天顶角的变化而变化。

使用改进后的模型根据实测数据所得到的真实相对反射率分布,通过参数拟合得出适合于水泥地表的参数,计算出的太阳天顶角为43度时各个方位相对反射率的分布,具体数值如表1所示。为了直观地展示改进后的理论模型的效果,考察描述相对反射率的能力,这里绘制出了太阳天顶角为42度、52度、61度、68度四种情况下通过实测数据得到的相对反射率分布三维图以及根据改进后的模型所计算出的相对反射率三维分布图,如图4所示。

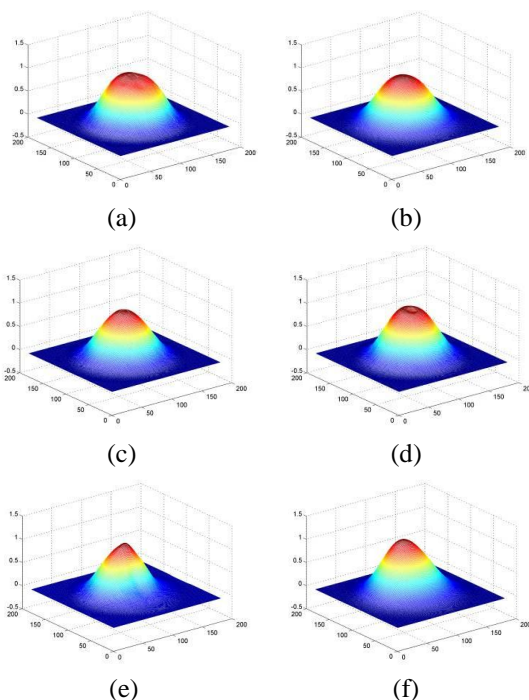


图4 针对水泥地表的反射率分布对比

(a)、(c)、(e)为太阳天顶角分别为52度、61度、68度
实测相对反射率分布

(b)、(d)、(f)为改进模型在太阳天顶角为52度、61度、
68度的相对反射率分布

从上图可以看出,与前文提及的三种模型相比,改进模型所计算出的相对反射率分布与实测数据所得到的更加相近。

在城市当中最为典型的地物就是房屋与道路,其中房屋多半是水泥屋顶,道路绝大部分为水泥路面和沥青路面,因此我们针对沥青地表重复以上的测量。反射率分布如图5所示,基于改进模型的反射率分布与实测数据也有很好的符合度。

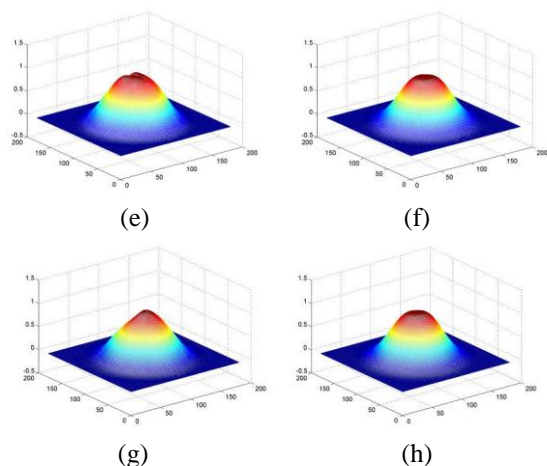
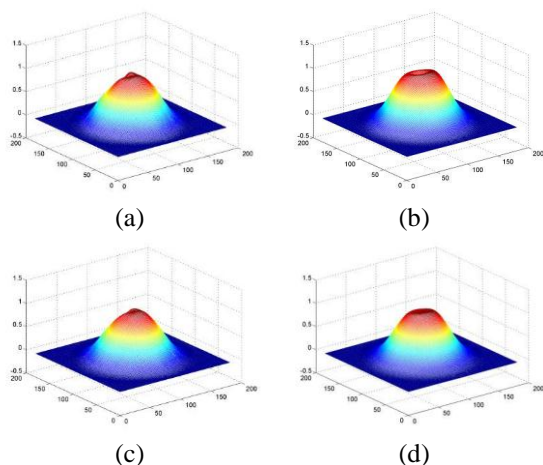


图5 针对沥青地表的反射率分布对比

(a)、(c)、(e)、(g)为太阳天顶角分别为49度、54度、
58度、64度实测相对反射率分布

(b)、(d)、(f)、(h)为改进模型在太阳天顶角为49度、
54度、58度、64度的相对反射率分布

5 结论

本文以水泥地表为实验对象,通过实际测量比较分析了三种经验/半经验模型的准确度。在现有模型的基础上,引入三次分量和平移分量,对模型进行改进。对柏油地表进行的实测实验与理论模型计算结果的对比可以证明,改进后的模型也可以很好的描述柏油路面的相对反射率情况,说明改进后的模型的适用范围可以进一步推广。

致谢

本文为973项目(61321001)和浙江省科技计划项目(2012C11013)的阶段性成果之一。

References

- [1] Oren M. and Nayar S.K., Generalization of the Lambertian model and implications for machine vision, *International Journal of Computer Vision*, vol. 14, pp. 227-251, 1995.
- [2] B. Hapke, A theoretical photometric function for the lunar surface, *Journal of Geophysical Research*, vol.68, pp. 4571-4586, 1963.

- [3] Li X. and Strahler A., Geometric-Optical bidirectional reflectance modeling of discrete crown vegetation canopy: effect of crown shape and mutual shadowing, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 30, pp. 276-292, 1992.
- [4] B. T. Phong, Illumination for computer generated pictures, *Communications of ACM*, Vol. 18, pp. 311-317, 1975.
- [5] G. J. Ward, Measuring and modeling anisotropic reflection, *Computer graphics*, Vol.26, pp. 265-272, 1992.
- [6] W. C. Snyder and Z. Wan, BRDF Models to Predict Spectral Reflectance and emissivity in the Thermal Infrared, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 36, 214-225, 1998.
- [7] W. F. Staylor and J. T. Suttles, Reflection and emission models for deserts derived from Nimbus-7 ERB scanner measurements, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Vol. 25, pp. 196-202, 1986.
- [8] C. L. Walthall, J. M. Norman, J. M. Welles, G. Campbell and B. L. Blad, Simple equation to approximate the bi-directional reflectance from vegetation canopies and bare soil surfaces, *Applied Optics*, Vol. 24, pp. 383-387, 1985.
- [9] Tiit Nilson and Andres Kuusk, A reflectance model for the homogeneous plant canopy and its inversion, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 27, pp. 157-167, 1989.
- [10] Tongfang Wei, The Optimized statistical modeling for BRDF and its application, *Master Thesis of Xidian University*, pp. 15-17, 2012.