

文章编号: 1007 4619 (2007) 03 0296 07

一种获取野外实测目标物 BRDF 的方法

宋芳妮^{1,2}, 范闻捷², 刘 强³, 徐希孺^{2,4}

(1. 中国农业大学 信息与电气工程学院信息管理系, 北京 100094; 2. 北京大学 遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871;

3. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101; 4. 北京师范大学 遥感与地理信息系统研究中心, 北京 100875)

摘 要: 目标物的二向性反射特性, 无论是在遥感模型还是在遥感反演中都扮演着重要的角色, 因此, 选用正确的方法获得自然条件下目标物的二向性反射特性是遥感定量分析的基石。长期以来, 人们往往用在自然条件下 (即太阳直射光和天空漫射光同时存在) 测得的双向反射率因子 (Bidirectional Reflectance Factor, BRF) 作为对目标物反射特性的表述, 但定义 BRF 时, 对外来辐射环境 (即入射辐射亮度的空间分布函数) 没有做出明确的规定, 事实上, 这样测得的 BRF 值与辐射环境有关, 用它来描述目标物的反射特性是不妥当的。本文通过野外测量证实了上述观点, 还证明了双向反射率分布函数 (Bidirectional Reflectance Distribution Function, BRDF) 与辐射环境无关的事实。同时本文也为读者提供了一种获得野外实测目标物 BRDF 的方法。实验证明, 使用该方法能较准确地获得目标物在自然条件下的 BRDF。

关键词: 二向性反射; BRDF; BRF**中图分类号:** TP701 **文献标识码:** A

A Method of Acquiring BRDF of Objects in the Field

SONG Fang ni^{1,2}, FAN Wen jie², LIU Qiang³, XU Xi nu^{2,4}

(1. Department of Information Management, College of Information and Electrical Engineering,

China Agriculture University, Beijing 100094, China; 2. Institute of Remote Sensing and GIS, Peking University, Beijing 100871, China;

3. State Key Laboratory of Remote Sensing, Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China;

4. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Research Center for Remote Sensing and GIS, Dept. Geography and Beijing Key Laboratory for Remote Sensing of Environment and Digital Cities, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract The bidirectional reflective characteristic of objects plays an important role not only in models of remote sensing but also in inversion, consequently, it is the base of quantitative analysis in remote sensing that chooses the appropriate method of acquiring the bidirectional reflective characteristic of objects in natural environment. For a long period, BRF (Bidirectional Reflectance Factor) acquired in natural environment is taken as the expression of bidirectional reflective characteristic of objects, but the definition of BRF doesn't prescribe radiant circumstances explicitly. Actually, BRF acquired in natural environment is related to radiant environment, so it is unsuitable to describe the reflective characteristic of objects with BRF. This viewpoint is testified in this paper by field data, meanwhile, we established the truth that BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) has nothing to do with the radiant environment. This paper provides a new method of acquiring BRDF data of objects in natural environment in order to arouse more pondering over the difference between BRDF and BRF. As it is indicated in the result of the experiments, with this method, we can acquire BRDF of objects in natural environment exactly.

Key words Bidirectional Reflection; BRDF; BRF**收稿日期:** 2006 01 05; **修订日期:** 2006 05 10**基金项目:** 国家自然科学基金 (编号: 40404036) 和国家重点基础研究发展规划项目 (编号: G2000077900) 资助。http://www.cnki.net**作者简介:** 宋芳妮 (1981—), 女, 现为中国农业大学信息管理系和北京大学遥感与地理信息系统研究所联合培养硕士研究生。主要从事多角度多光谱遥感的机理研究。E-mail: fanney2006@126.com。

1 测量目标物 BRDF 的必要性

随着遥感研究的深入,定量遥感反演地表信息成为遥感的主要研究方向之一,这就要求传感器获取的信息能准确反映地表特征,因此只有将不同入射角和观测角的影响归一化,才能进一步进行地表参数的定量遥感反演。同时,二向性反射的影响是获取地面目标三维结构信息的重要问题,从对地多角度遥感数据中提取地面目标的空间结构参数,从机理上讲,主要依赖于地物本身的二向性反射特征^[1]。另外,二向性反射特性还在地气能量传输中占据着重要位置,是计算大气下行辐射反射项的必要条件。

二向性反射是自然界中最基本的宏观现象之一,用来表达物体表面对外来辐射的反射,即反射不仅具有方向性,而且这种方向性还因入射辐射的方向不同而异,也就是说,随着太阳入射角和观测角的变化,物体表面的反射有明显差异,故人们称它为二向性反射^[2]。

1977年 Nicodemus 首次提出了“双向反射率分布函数”(BRDF)的概念^[3],用以表达目标物的二向性反射特征。其定义是:来自入射方向 i 的地表辐照度的微增量与其所引起的反射方向 r 的反射辐射亮度增量之间的比值,即

$$\text{BRDF}(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda) = \frac{dL(\theta_r, \varphi_r; \lambda)}{dE(\theta_i, \varphi_i; \lambda)} \quad (1)$$

式中, θ_i 和 φ_i 分别是入射辐射的天顶角和方位角, θ_r 和 φ_r 分别表示反射辐射的天顶角和方位角; $dE(\theta_i, \varphi_i)$ 表示在一个微小的面元 dA 上,特定入射光 (θ_i, φ_i) 对目标物所构成的辐照度(即入射辐射通量密度),单位是 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$; $dL(\theta_r, \varphi_r)$ 表示在一个微小的面元 dA 上,特定反射方向 (θ_r, φ_r) 上的反射辐射亮度,单位是 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Sr}^{-1}$ 。在 Nicodemus 之后,人们对 BRDF 的定义作了进一步的研究和完善^[4-17]。由于 BRDF 采用了二向性定义,并用入射辐射的辐照度统一标定了外来辐射对反射辐射亮度的贡献,所以,从本质上讲 BRDF 与入射辐射的空间分布特性无关,是一个纯粹描述物体反射特性的物理量^[4]。

然而,在自然条件下,测量 BRDF 比较困难,尤其是测量辐照度比较复杂,所以人们常用双向反射率因子(BRF)来代替 BRDF 表述目标物的二向性反射特征^[18-23]。BRF 的定义是:在一定的辐照和观测条件下,目标物的反射辐射亮度与处于同一辐照度和观测条件下的标准参考面(朗伯全反射面)的

反射辐射亮度之比。即

$$\text{BRF} = \frac{dL_r(\theta_r, \varphi_r; \lambda)}{dL_p(\theta_r, \varphi_r; \lambda)} \quad (2)$$

式中, $dL_r(\theta_r, \varphi_r; \lambda)$ 和 $dL_p(\theta_r, \varphi_r; \lambda)$ 分别表示目标物和相同观测条件下朗伯全反射面的反射辐射亮度, Ω_r 代表观测方向 (θ_r, φ_r) 的立体角。在 BRF 的定义中, L_r 和 L_p 均采用微分的形式,这是因为假定传感器的视场角为无穷小量,但在实际测量中,由于物体的反射辐射亮度都是一定视场角范围内的值,所以,此时的 BRF 应为:

$$\text{BRF} = \frac{L_r(\theta_r, \varphi_r; \lambda)}{L_p(\theta_r, \varphi_r; \lambda)} \quad (3)$$

在 BRF 的定义中,并没有对入射辐射环境^[4]加以限定,所以,严格地讲 BRF 不能被冠以“双向”的头衔。事实上,长期以来,人们习惯于在太阳直射辐射与天空散射辐射同时存在的条件下来测量目标物的 BRF,但是这样测得的 BRF 不仅与目标物的反射特性有关,而且还与辐射环境有关,证明如下:根据 BRDF 的定义,对目标物和标准参考板(朗伯全反射面)分别有:

$$L_r(\theta_r, \varphi_r; \lambda) = \int_{2\Omega_i} f_r(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda) L(\theta_i, \varphi_i; \lambda) \cos\theta_i d\Omega_i \quad (4)$$

$$L_p(\theta_r, \varphi_r; \lambda) = \int_{2\Omega_i} \frac{1}{\pi} L(\theta_i, \varphi_i; \lambda) \cos\theta_i d\Omega_i \quad (5)$$

式中, Ω_i 代表入射方向 (θ_i, φ_i) 的立体角, $f_r(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda)$ 代表目标物的 BRDF,将 (4) (5) 两式代入 (3) 式有

$$\text{BRF} = \pi \cdot \frac{\int_{2\Omega_i} f_r(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda) L(\theta_i, \varphi_i; \lambda) \cos\theta_i d\Omega_i}{\int_{2\Omega_i} L(\theta_i, \varphi_i; \lambda) \cos\theta_i d\Omega_i} \quad (6)$$

显然, BRF 与 $L(\theta_i, \varphi_i; \lambda)$ 的空间分布,即辐射环境密切相关。晴天、多云和阴天三种不同的辐射环境下,野外实地测得的 BRF 数据证实了这一点。图 1 给出了不同天气条件下相同观测时段主平面内蓝光(450nm)、绿光(550nm)、红光(680nm)以及近红外波段(850nm)草地的 BRF 随观测天顶角的变化情况。

实验结果表明:(1)在 2π 入射光源条件下测得的不同天气时草地的 BRF 差别极大,在热点位置(观测天顶角为 20°)附近,差别尤为显著。如在绿光波段,多云、阴天及晴天条件下,草地热点处的 BRF 分别是 0.094544, 0.058346, 0.11094, 晴天草地的 BRF 比多云天气下的 BRF 增加了 22%, 比阴天的 BRF 则增加了 47%。究其原因,是因为热点处物体的二向

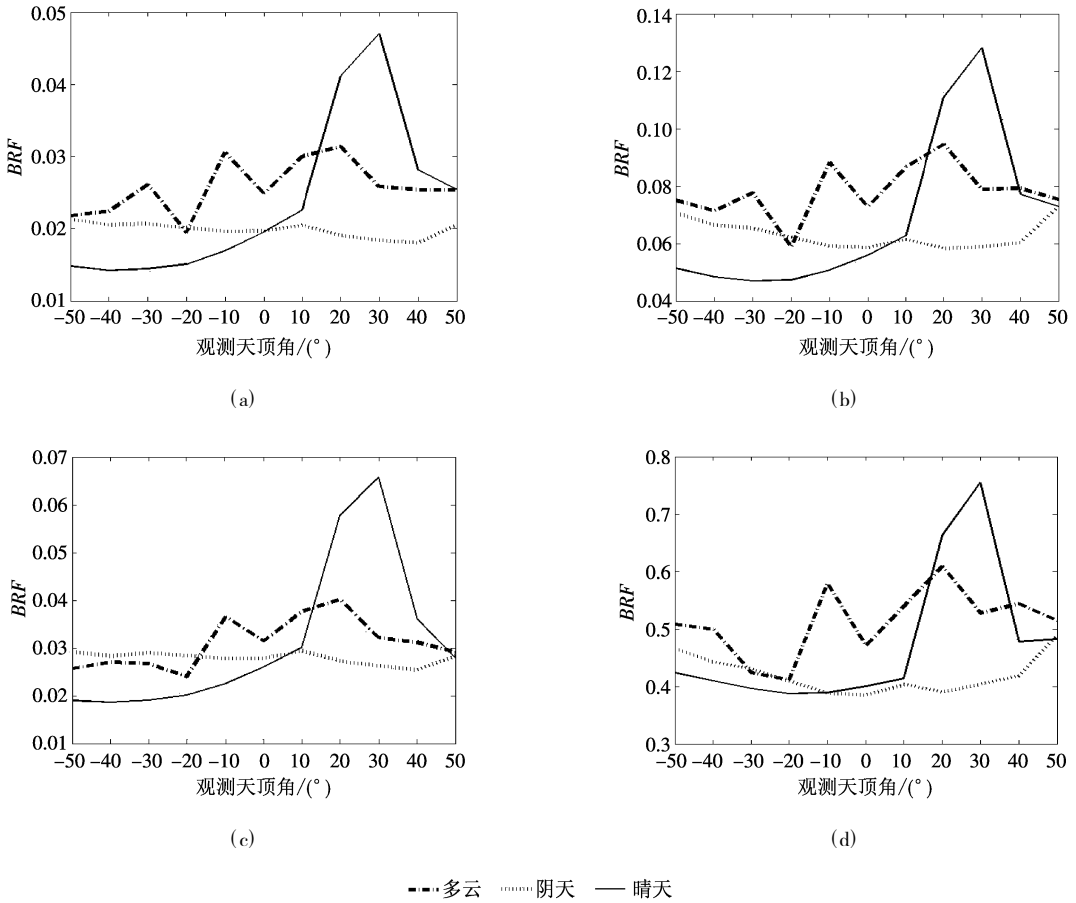


图 1 不同天气条件下草地的 BRF

(a) 蓝光波段; (b) 绿光波段; (c) 红光波段; (d) 近红外波段

Fig 1 BRF of grass in different weather

(a) blue band; (b) green band; (c) red band; (d) near infrared band

性反射特征表现得最为显著,所以 BRF 的差异也最为显著。(2) 在阴天,热点效应已经消失,且同一波长下,不同观测角度的 BRF 非常接近,其变化量不超过 20%。在二向性条件下,阴影效果必定时时处处存在,但是,阴天条件下入射辐射在 2π 空间中近似各向同性,阴影效果显著减小,二向性反射特征不显著,因而不同观测角度下草地的 BRF 变化不大。

2 在自然条件下测量目标物 BRDF 的可行性

2.1 实验地点与数据采集方法

实验在北京师范大学气象园内进行,经纬度分别是东经 $39^{\circ}9'$,北纬 $116^{\circ}47'$ 。观测对象是草地,选用美国 ASD (Analytical Spectral Device) 公司的 Field Spec 光谱仪进行观测,其波段范围是 350—1050nm,视场角选用 25° 。观测角度的确定:当观测

方向与太阳入射方向在同侧时,天顶角取正值,否则为负;方位角均以与正北方向重合为 0° ,顺时针方向旋转递增,如图 2 所示。

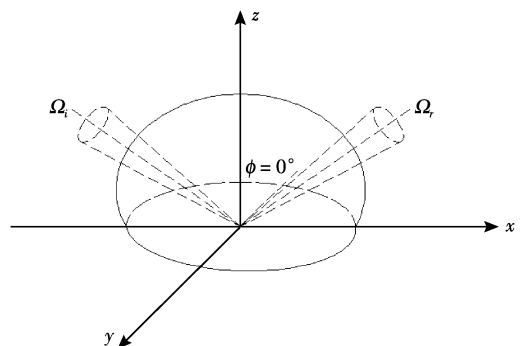


图 2 太阳和观测角坐标系

Fig 2 Coordinate system of the sun and view angle

2.2 自然条件下实测目标物 BRDF 的方法

测量目标物的 BRF 时,如果入射辐射和反射辐

射都被限定在二向性条件下,且参考板是朗伯全反射板,则

$$\begin{aligned} \lim_{\Omega_i, \Omega_r \rightarrow 0} R_T &= \frac{dL_T(\theta_i, \varphi_i; \lambda)}{dL_p(\theta_i, \varphi_i; \lambda)} \\ &= \frac{f_r(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda) dE(\theta_i, \varphi_i; \lambda)}{f_r dE(\theta_i, \varphi_i; \lambda)} \\ &= \pi f_r(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda) \end{aligned} \quad (7)$$

所以, $f_r = \lim_{\Omega_i, \Omega_r \rightarrow 0} \frac{1}{\pi} R_T$ 。可见,要求得目标物的 BRDF, 只需求得其在二向性条件下的 BRF 即可。为此使用了两组数据,一组是入射光来自 2π 空间时测得的目标物的反射辐射亮度,另一组是用遮光板挡住太阳直射光的条件下测得的目标物的反射辐射亮度。根据太阳视半径和光谱仪的视场大小,确定遮光板的半径为 0.35m。根据二向性条件下 BRF 的定义,有:

$$\lim_{\Omega_i, \Omega_r \rightarrow 0} R_T = \frac{L_{T1}(2\pi, \theta_r, \varphi_r; \lambda) - L_{Td}(2\pi - \Omega_0, \theta_r, \varphi_r; \lambda)}{L_{P1}(2\pi, \theta_r, \varphi_r; \lambda) - L_{Pd}(2\pi - \Omega_0, \theta_r, \varphi_r; \lambda)} \quad (8)$$

式中, Ω_0 代表遮光板对观测目标物所形成的立体角, $L_{T1}(2\pi, \theta_r, \varphi_r; \lambda)$ 和 $L_{Td}(2\pi - \Omega_0, \theta_r, \varphi_r; \lambda)$ 分别是 2π 空间入射时和用遮光板挡住太阳直射辐射时测得的目标物的反射辐射亮度。 $L_{P1}(2\pi, \theta_r, \varphi_r; \lambda)$ 和 $L_{Pd}(2\pi - \Omega_0, \theta_r, \varphi_r; \lambda)$ 是在相同条件下对参考板的测量值。但实际上,实验中使用的参考板不是理想的全反射板,因此需要对它进行修正,应有

$$\lim_{\Omega_i, \Omega_r \rightarrow 0} R_T = \frac{L_{T1}(2\pi, \theta_r, \varphi_r; \lambda) - L_{Td}(2\pi - \Omega_0, \theta_r, \varphi_r; \lambda)}{L_{RP1}(2\pi, \theta_r, \varphi_r; \lambda) - L_{RPd}(2\pi - \Omega_0, \theta_r, \varphi_r; \lambda)} \cdot R_{RP}(\lambda) \quad (9)$$

式中,参考板的 BRF,即 $R_{RP}(\lambda)$,由中国计量研究院提供测量值。

2.3 实验结果分析

不同天气条件下,用实测 BRDF 得到的 BRDF 如图 3 所示。

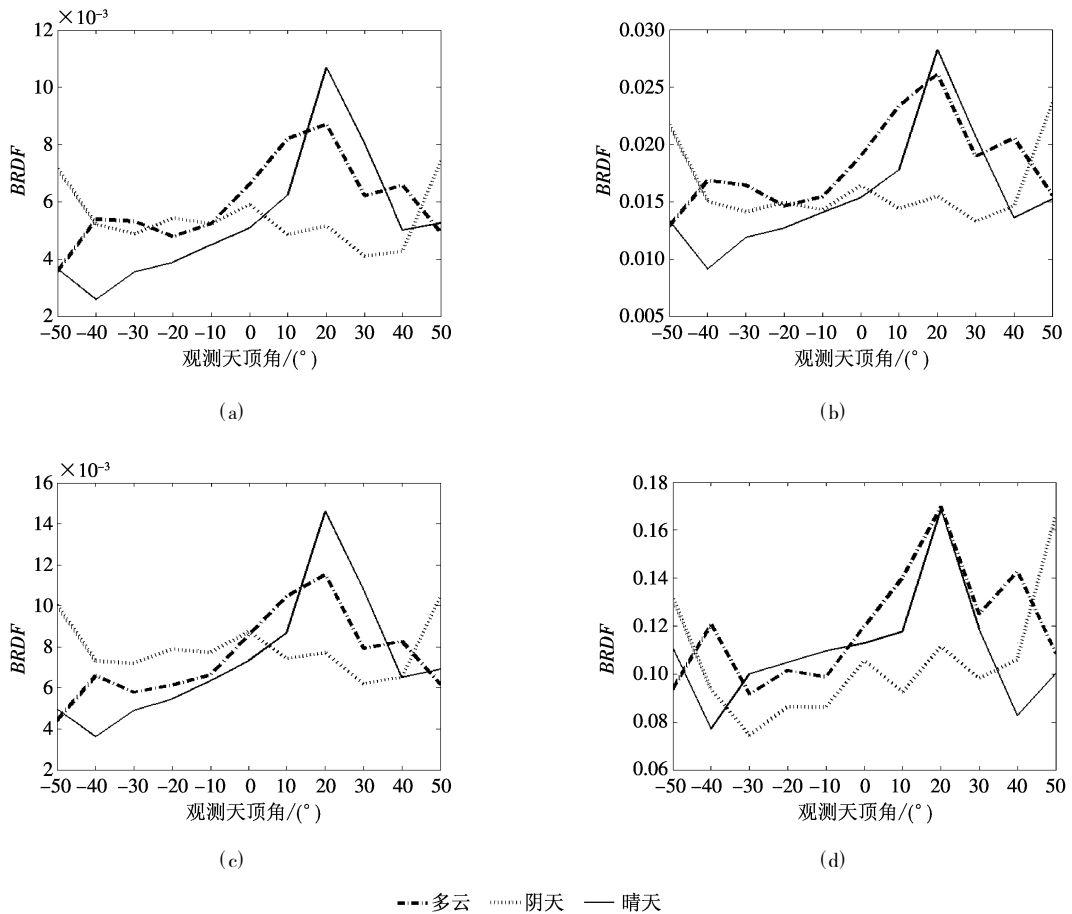


图 3 不同天气条件下草地的 BRDF

(a) 蓝光波段; (b) 绿光波段; (c) 红光波段; (d) 近红外波段

Fig 3 BRDF of grass in different weather

(a) blue band; (b) green band; (c) red band; (d) near infrared band

从图 3 可以看出: (1) 在绿光波段, 多云和晴天天气条件下, 草地在热点的 BRDF 分别是 0.026123 和 0.02823, 晴天草地的 BRDF 比多云天气下的 BRDF 增加了 7.4%, 而晴天草地的 BRDF 比多云天气下的 BRDF 增加了 22%; (2) 在阴天条件下, 使用该方法会引起较大的测量误差, 这是因为在阴天条件下, 公式 (8) 中的分子分母都趋近于零, 所以它们对测量误差非常敏感。总之, 实验结果表明: BRDF 与辐射环境无关, 它只与目标物的反射特性有关。

2.4 实验验证

为了证明上述方法的可行性与可靠性, 直接测量太阳直射辐射的辐照度和目标物的反射辐射亮度, 代入 BRDF 的定义即可得到目标物的 BRDF。

实际测量中, 由于太阳光度计和光谱仪视场角不可能趋于无穷小, 则

$$\text{BRDF}(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda) = \frac{L(\theta_r, \varphi_r; \lambda)}{E(\theta_i, \varphi_i; \lambda)} \quad (10)$$

式中, $E(\theta_i, \varphi_i; \lambda)$ 指太阳直射辐射的辐照度, 由 CE318 太阳分光光度计测量得到; $L(\theta_r, \varphi_r; \lambda)$ (相当于本文 2.2 节中的 $L_{r1}(2\pi, \theta_r, \varphi_r; \lambda) - L_{r1}(2\pi - \Omega_0, \theta_r, \varphi_r; \lambda)$) 由光谱仪测量得到, 两者都是较小视场角范围内的值, 且须同步测量获得。

然而, 实际中较少直接测量 BRDF, 一方面, 太阳光度计仅能提供较少的某几个波段的辐照度, 所以很难满足实际中宽波段测量的需求; 另一方面, 该验证方法需要同时具备光谱仪和太阳光度计, 但一般情况下较难达到这样的仪器条件。

图 4 显示了 2005 年 10 月 4 日分别用两种方法同时测得的草地在近红外波段的 BRDF。

可以看出: 使用本文提出的方法 (利用实测 BRDF 求 BRDF) 测得的 BRDF 较为准确可靠, 即使在差异最大的 -20° , 这种方法测得的 BRDF 也仅比验证方法增加了不到 15%。该方法还存在一定的误差, 误差来源主要有: (1) 遮光板的位置: 实验中通过观察摄像头视场内遮光板的阴影来控制遮光板的位置, 但其视场与光谱仪的视场不能完全重合; 测量遮荫参考板时, 遮光板和参考板之间的距离不超过 1m, 因此, 在遮挡太阳直射光的同时也遮挡了部分天空散射光; (2) 在热点位置上, 无论观测对象是草地还是参考板, 仪器的阴影都不可避免的出现在视场内; (3) 光谱仪的辐射定标存

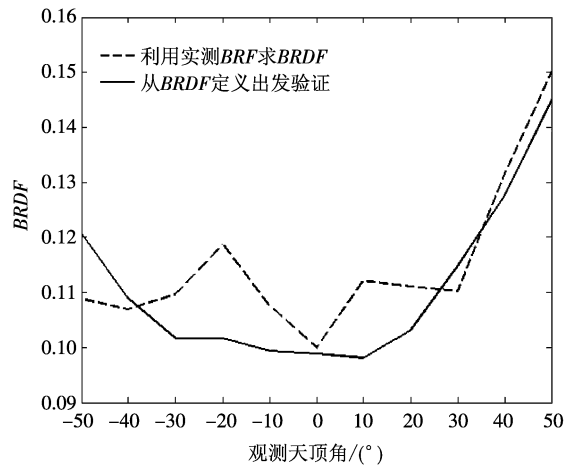


图 4 不同方法测得的草地 BRDF 的比较

Fig 4 Comparison of grass BRDF acquired with different methods

在一定的误差; (4) 观测周期内 (约 20min), 太阳位置有微小的变化, 这也导致目标物状态参数的变化。

3 结论与讨论

通过实测证实了在 2π 空间入射辐射环境下所测得的目标物的 BRDF 与入射辐射在 2π 空间的分布有关, 因此, 不能准确描述目标物的反射特性。用 BRDF 表征物体的反射特性更为妥当。BRDF 与 BRDF 差别最大的地方在热点处, 因为此处目标物的非朗伯体特性表现的最为显著。

在此基础上提出了一种在自然条件下获得目标物 BRDF 的方法, 并通过实验验证初步证实了这样获得的 BRDF 只反映目标物的二向性反射特征, 与辐射环境无关。

参考文献 (References)

- [1] Wang J D, Li X W, Zhu C G. The Experimental Study of Multi angular Remote Sensing on Ground Object [A]. The New Progress and Developmental Strategy in Remote Sensing [C]. Beijing: China Science and Technology Press, 1996. [王锦地, 李小文, 朱重光. 地面目标的多角度遥感观测实验研究 [A]. 遥感新进展与发展战略 [C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.]
- [2] Zhao Y S, et al. The Analytical Principle and Method of Remote Sensing Application [M]. Beijing: Science Press, 2003. [赵英时等. 遥感应用分析原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.]
- [3] Nicodemus F E, Richmond J C, Hsia J J, et al. Geometric

- Considerations and Nomenclature for Reflectance [J]. National Bureau of Standards Monograph, 1977, 160: 1—52.
- [4] Xu X R. Remote Sensing Physics [M]. Beijing: Peking University Press, 2005. [徐希孺. 遥感物理 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2005.]
- [5] Li X W, Strahler A H. Geometric Optical Bidirectional Reflectance Modeling of Mutual Shadowing Effects of Crowns in a Forest Canopy [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1992, 30: 276—292.
- [6] Davies R. Spatial Autocorrelation of Radiation Measured by the Earth Radiation Budget Experiment Scene in Homogeneity and Reciprocity Violation [J]. Journal of Geophysical Research, 1994, 99: 20879—20887.
- [7] Karl Theodor Kriebel. On the Limited Validity of Reciprocity in Measured BRDFs [J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 58: 52—62.
- [8] Li X W, Wan Z M. Comments on Reciprocity in the Directional Reflectance Modeling [J]. Progress in Natural Science, 1998, 8: 354—358.
- [9] Liang S, Strahler A H. Summary of the International Forum on BRDF [J]. Earth Observer, 1998, 11 (1): 27—33.
- [10] Di Girolamo L, Vamai T, Davies R. Apparent Breakdown of Reciprocity in Reflected Solar Radiances [J]. Journal of Geophysical Research, 1998, 103: 8795—8803.
- [11] Ni W, Jupp D L B. Spatial Variance in Directional Remote Sensing Imagery Recent Developments and Future Perspectives [J]. Remote Sensing of Environment, 2000, 18: 441—480.
- [12] Li X W, Wan Z M. The Applicability of Reciprocity in Bidirectional Reflection [J]. Progress in Natural Science, 1998, 8 (4): 456—460. [李小微, 万正明. 互易原理在二向性反射研究中的适用性 [J]. 自然科学进展, 1998, 8 (4): 456—460.]
- [13] William C Snyder. Reciprocity of the Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF) in Measurements and Models of Structured Surfaces [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1998, 36 (2): 685—691.
- [14] Greffet J J, Nieto Vesperinas M. Field Theory for Generalized Bidirectional Reflectivity: Derivation of Helmholtz's Reciprocity Principle and Kirchhoff's Law [J]. Journal of the Optical Society of America A, 1998, 15: 2735—2744.
- [15] William C Snyder. Definition and Invariance Properties of Structured Surface BRDF [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002, 40 (5): 1032—1037.
- [16] Larry Di Girolamo. Generalizing the Definition of the Bidirectional Distribution Function Reflectance [J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 88: 479—482.
- [17] Zhao H R, Wang J D, Wang H. The Second Discussion of Multi-dimension Effect in Reciprocity [J]. Progress in Natural Science, 2003, 13 (11): 1210—1213. [赵红蕊, 王锦地, 王华. 再论 BRDF 互易原理的尺度效应 [J]. 自然科学进展, 2003, 13 (11): 1210—1213.]
- [18] St Sandmeier. Sensitivity Analysis and Quality Assessment of Laboratory BRDF Data [J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 64: 176—191.
- [19] Stefan Dangel, Mathias Kneubuhler, Rolf Kohler, et al. Combined Field and Laboratory Goniometer System FIGOS and LAGOS [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 4428—4431.
- [20] Stefan Sandmeier. The Swiss Field Goniometer System (FIGOS) [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1995, 2078—2081.
- [21] Stefan R Sandmeier, Willy Sandmeier, Klaus I Itten, et al. A Field Goniometer System (FIGOS) for Acquisition of Hyperspectral BRDF Data [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999, 37 (2): 978—986.
- [22] Stefan R Sandmeier. Acquisition of Bidirectional Reflectance Factor Data with Field Goniometers [J]. Remote Sensing of Environment, 2000, 73: 257—269.
- [23] Schneider Thomas. Field Goniometer System for Accompanying Directional Measurements [A]. Proceedings of 2nd CHRIS/Proba Workshop [C]. ESA/ESRIN, Frascati, Italy 2004, (7): 28—30.
- [24] Wang J D, et al. The Measure Standard and Criterion of Remote Sensing Standardized Spectral Database and Non-spectral Parameters of Typical Objects in China, Program Report [R]. Center of Remote Sensing and GIS, Beijing Normal University, 2006. [王锦地等. 我国典型地物波谱和配套的非波谱参数测试的技术标准和规范 [R]. 北京师范大学遥感与地理信息系统研究中心, 2006.]

附录:获取野外实测目标物 BRDF 的方法

为开展野外目标物 BRDF 的测量,参照“我国典型地物波谱和配套的非波谱参数测试的技术标准和规范”^[24](以下简称规范),本测量方法对 0.35—2.5 μm 波段的测量的仪器、环境及实验过程等作了技术约定。

1 仪器及标准参考板

(a) 仪器及辅助设备:便携式野外光谱仪、便携式计算机、BRDF 观测架、摄像头、遮光板、相机、卷尺等;

(b) 标准参照板:同规范中 § 3.3.1;

2 实验要求

同规范中 § 5.1.3.3.2;

3 实验过程

3.1 实验前准备工作

(a) 固定光谱仪枪形探头和摄像头,使它们的进光孔垂直向下;

(b) 完成光谱仪、摄像头与计算机之间的接线;

其他准备工作同规范中 § 5.1.3.3.3 节第 2 点。

3.2 观测过程

(a) 使光谱仪枪形探头的进光孔垂直向下,水平放置标

准参考板,测量其在 2π 入射光下的反射辐射亮度 $L_{RP1}(2\pi, \theta_r, \varphi_r; \lambda)$;

(b) 测量目标物在 2π 入射光下的反射辐射亮度 $L_{T1}(2\pi, \theta_r, \varphi_r; \lambda)$;

(c) 测量标准参考板在遮荫条件下,即 $2\pi - \Omega_0$ 入射光条件下的反射辐射亮度 $L_{RP1}(2\pi - \Omega_0, \theta_r, \varphi_r; \lambda)$;

(d) 测量目标物在 $2\pi - \Omega_0$ 入射光下的反射辐射亮度 $L_{T1}(2\pi - \Omega_0, \theta_r, \varphi_r; \lambda)$;

(e) 使观测天顶角在太阳同侧,以 10° 为间隔,重复过程 (a)—(d);

(f) 使观测天顶角在太阳异侧,以 10° 为间隔,重复过程 (a)—(d),至此完成一个测量周期,根据需要进行一次标准参考板校准测量;

4 观测条件

测量速度要求:测量周期不超过 20 分钟;可以在多云的天气条件下测量;其他观测条件同规范中 § 3. 1. 1。

5 实验数据量

同规范中 § 5. 1. 3. 1. 4