

文章编号: 1007-4619(2000)增-0101-05

多角度 NOAA 数据方向信息 提取的方法研究

龙 飞, 赵英时, 徐建春

(中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 利用连续数天的 NOAA 卫星数据, 根据 Rahman 半经验模型提取出多个角度的图像, 并从理论上对结果进行分析。实验结果表明, 模型反演正确, 所得到的角度图像与实测情况符合并能用模型本身进行解释, 所得到的 3 个参数图像具有识别地物的潜在价值。

关键词: BRDF; NOAA 数据; 模型反演; 方向信息提取

中图分类号: TP75 **文献标识码:** A

1 引 言

随着遥感对地观测, 中等分辨率、多角度遥感数据的逐步获得, 遥感影像中 BRDF 的分析研究便显得越来越重要。它除了能比较不同几何条件下的遥感数据结果而且可以从中提取地表物理参数以及地气系统的临界条件。为了更好地研究二向反射过程, 国内外学者开展了一系列理论模型研究。这些模型一般分为统计模型、物理模型、半经验模型。统计模型比较简单, 适用性强, 但理论基础不完备, 参数之间缺少逻辑关系; 物理模型与之相反, 理论基础完善, 但有时存在对非主要因素过多假定或忽略的缺陷。为了综合统计模型和物理模型的优点, 又发展了半经验模型。具有代表性的半经验模型有线性的核驱动半经验模型^[1, 2](Roujean *et al.*, 1992; Wanner *et al.*, 1995)和非线性的半经验模型^[3, 4](Rahman, 1993)。其中 Rahman 提出的半经验模型具有参数少, 理论基础完备, 适用于中等分辨率影像中像元不纯等特点。为了使多角度遥感理论研究、模型反演、实验模拟与卫星遥感的实际应用有机结合, 我们运用目前“唯一”的多角度 NOAA 卫星数据, 选用 Rahman 半经验模型对内蒙古半干旱区典型农牧交错地带的几种主要土地类型进行了一次多

角度方向信息提取的方法实验。

2 多角度 NOAA 数据采集与预处理

从理论上讲, 由于 NOAA/AVHRR 传感器的宽视域(扫描角 $\pm 55.4^\circ$)和高时间分辨率, 利用单星连续多天的数据, 通过轨道飘移所产生的角度差异, 可获得同一地区(或同一像元)不同角度的多次观测数据, 便于进行地表目标二向反射函数 BRDF 的计算与反演。尽管 NOAA-AVHRR 数据空间分辨率低($1\text{km}^2/\text{像元}$)、数据变形大, 并非理想的多角度数据, 但应该说 NOAA-AVHRR 数据是当前国内“唯一”可以得到的多角度卫星遥感数据。

本文选用了 NOAA-14, 1999 年 8 月 7 日—16 日, 连续 10 天的 AVHRR 数据, 地理范围为北纬 37° — 42° , 东经 108° — 113° 。该数据在获取前已经作过了辐射定标和几何粗纠正, 但为了避免丢失角度方向信息, 没有进行太阳高度角的纠正。为了模型反演以及验证提取的方向信息对典型地物识别的有效性, 根据野外考察及内蒙地区 1:50 万的土地利用图, 从图中选出 3 个样区, 分别属于沙地、天然草地、农田(每个样区均为 50×50 像元, 约 2500km^2)。

由于 NOAA 卫星对同一地点观测角度的变化

收稿日期: 1999-12-15; 修改日期: 2000-08-10

基金项目: 国家“九五”攀登预选项目(95-预-38)和国家重点基础研究发展规划项目(G2000077900)。

作者简介: 龙飞(1976—), 男, 1998年毕业于武汉测绘科技大学信息工程专业。现于中国科学院研究生院从事遥感, 地理信息系统方面的研究工作。

较大,我们以星下观测的影像为基准,采取图像对图像的配准方法,对其他多幅影像进行几何配准。每幅图像选取 17—18 个控制点,控制点的空间分布充分考虑到整体与局部兼顾的原则,并确保每个样区内至少布有 3 个以上的控制点,采用多项式拟合法,使配准的误差平方根(RSME)控制在 0.4 以下,经像元重采样,最终图像配准精度在 0.5 个像元内。从理上讲,多角度影像的配准往往因观测角度不同、双向反射变化、像元大小的差异,要比一般的图像配准更为复杂。目前国内外也提出了一些多角度影像自动配准的算法^[5]。但实践证明,运用上述的空间配准方法并不会破坏角度信息,且配准精度可满足要求。

模型反演需要计算太阳天顶角 θ_1 、卫星天顶角 θ_2 、太阳方位角 ϕ_1 、卫星方位角 ϕ_2 。太阳高度角 α 是随纬度、季节、时间等因素而变化的,可用以下公式计算:

$$\sin \alpha = \sin \beta \sin \gamma + \cos \beta \cos \gamma \cos \eta \quad (1)$$

β :地理纬度 γ :太阳赤纬 η :地方时角
太阳方位角 ϕ_1 , 即入射方向与当地经线的夹角,可用下式表示:

$$\sin \phi_1 = \cos \gamma \cos \eta / \cos \alpha \quad (2)$$

要注意的是当太阳方位角超过 90° 时,正弦公式已不适用,应改为余弦公式:

$$\cos \phi_1 = (\sin \gamma - \sin \beta \sin \alpha) / (\cos \beta \cos \alpha) \quad (3)$$

卫星方位角 ϕ_2 , 对于轨道固定的 NOAA 卫星来说可以认为是定值。卫星天顶角 θ_2 可直接由像元在卫星扫描行中的列数计算出来(扫描角在 $\pm 55.4^\circ$ 内,对应 0—2048 列)。

通过以上计算,10 天的 NOAA 数据中太阳天顶角在 36° — 57° 变化,卫星观测天顶角在 -55.4° — $+55.4^\circ$ 变化,太阳方位角在 54.4° — 82.2° 变化,卫星方位角(即卫星与当地经线的夹角)可近似为 99.1° 或 80.9° 。

3 Rahman 地表模型

Rahman 的地表二向反射模型是一个半经验模型。它通过 ρ_0 、 k 、 h 3 个参数来描述特定地表的二向反射。它无须对地表性质与结构做严格的限制性假设,与地表的复杂组成无关,而仅与 3 个参数有关。

这 3 个经验参数虽无明确的物理意义,也不能直接测量,但都有自身的涵义,且可以通过不同角

度的观测值得。 ρ_0 表征地表覆盖的反射辐射强度,它与角度变化无关,而与具体地物或地物的植被指数有关; k 表征地表各向异性的程度; h 控制着前向散射与后向散射的相对量。这 3 个参数可以用于识别不同表面二向反射的差异。

模型表示为:

$$\rho_s(\theta_1, \theta_2, \phi) = \rho_0 \frac{\cos^{k-1} \theta_1 \cos^{k-1} \theta_2}{(\cos \theta_1 + \cos \theta_2)^{1-k}} \cdot F(g) \cdot [1 + R(G)] \quad (4)$$

式中, ρ_s 为 θ_1 、 θ_2 、 ϕ 观测条件下地面的反射率, ρ_0 、 k 、 h 为地表经验参数。为了提高模型在表现 3 维方向反射率不均匀性的灵敏度,引入 $F(g)$ 函数以调整前向后向散射的总贡献,可表示为:

$$F(g) = \frac{1-h^2}{[1+h^2-2h\cos(\pi-g)]^{1.5}} \quad (5)$$

式中相角为 g :

$$\cos g = \cos \theta_1 \cos \theta_2 + \sin \theta_1 \sin \theta_2 \cos(\phi) \quad (6)$$

热点效应表示为:

$$1 + R(G) = \frac{1-\rho_0}{1+G} + 1, \quad (7)$$

式中几何因子 G 为:

$$G = [\tan^2 \theta_1 + \tan^2 \theta_2 - 2 \tan \theta_1 \tan \theta_2 \cos(\phi)]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

4 模型反演

定量遥感的应用实际上是通过遥感原始观测数据来“反演”地表有价值的信息。不同观测角度的遥感数据反映了辐射传输过程的差异,需要通过多次观测值对数学模型反演来获得所需的参数。假定

$$Z = f(x_1 x_2 \cdots x_n, y_1 y_2 \cdots y_m) \quad (9)$$

Z 代表观测值, y_j ($j = 1 \cdots m$) 描述地表物理特性, x_i ($i = 1 \cdots n$) 描述观测条件; 对于多次观测 M (M 为观测次数):

$$\begin{aligned} Z_1 &= f(x_{11} x_{12} \cdots x_{1n}, y_{11} y_{12} \cdots y_{1m}) \\ Z_2 &= f(x_{21} x_{22} \cdots x_{2n}, y_{21} y_{22} \cdots y_{2m}) \\ &\vdots \\ Z_M &= f(x_{M1} x_{M2} \cdots x_{Mn}, y_{M1} y_{M2} \cdots y_{Mm}) \end{aligned} \quad (10)$$

为了求解方程,必须要满足以下条件:

(1) 目标在观测期间不允许有明显变化,也就是说要求函数形式 f 与参数 y_j 的值在整个观测期间不允许有明显变化;

(2) 独立变量 x_i 对不同的观测必须有明显的变化;

(3) 对不同的观测条件 x_i 观测次数 M 要大于反演参数 m , 否则反演是不可信的。

具体运用 NOAA 数据反演地表参数时则要满足以下对应的 3 个条件:

(1) 在观测期间地气系统必须稳定,地面与大气条件均不能有显著变化,我们也认定在观测的连续几天气条件变化不大;

(2) 卫星过境时间大致相同,太阳高度角没有明显变化,太阳方位角也只在 54.4° 到 82.36° 变化,而卫星高度角却变化很大,从 -55° 到 $+55^\circ$ 。这也满足了此次反演模型的要求。

(3) 模型中有 3 个未知参数,而我们选用 6 天有

效的 NOAA 数据来反演,满足了观测次数 M 大于要反演参数 m 的要求。

由于 ρ_0 、 k 、 h 3 个参数均是针对某个特定地表而言的,因此参数反演是针对 3 个典型样区(沙地、天然草地、农田)进行的。模型反演是一个反复迭代寻求目标函数最优值的过程^[6],在此次反演中也就是求算参数使观测值与模型反演值之间的误差平方和最小,如(11)式。在此取 $w=1$,使用科学工程计算语言 matlab 调用 NAG 函数库中的函数 E04JAF 通过拟牛顿法来解求这个最小值问题。反演计算结果对误差平方和的最小值 $\min(\delta^2)$ 取 0.01 为临界值。沙地和天然草地两个样区 $\min(\delta^2)$ 超过 0.01 的像元不超过 20 个,仅占总像元数的 0.8%;农田样区 $\min(\delta^2)$ 超过 0.01 的像元有 150 个也只占总像元数的 6%。应该说,反演精度较高,结果可靠。至于个别像元的误差可能是受配准精度或少量云的影响。

$$\min(\delta^2) = \min \left\{ \sum_{i=1}^M w_i [\hat{z}_i - f_i(x_{i1} x_{i2} \cdots x_{in}, y_{i1} y_{i2} \cdots y_{im})]^2 \right\} \quad (11)$$

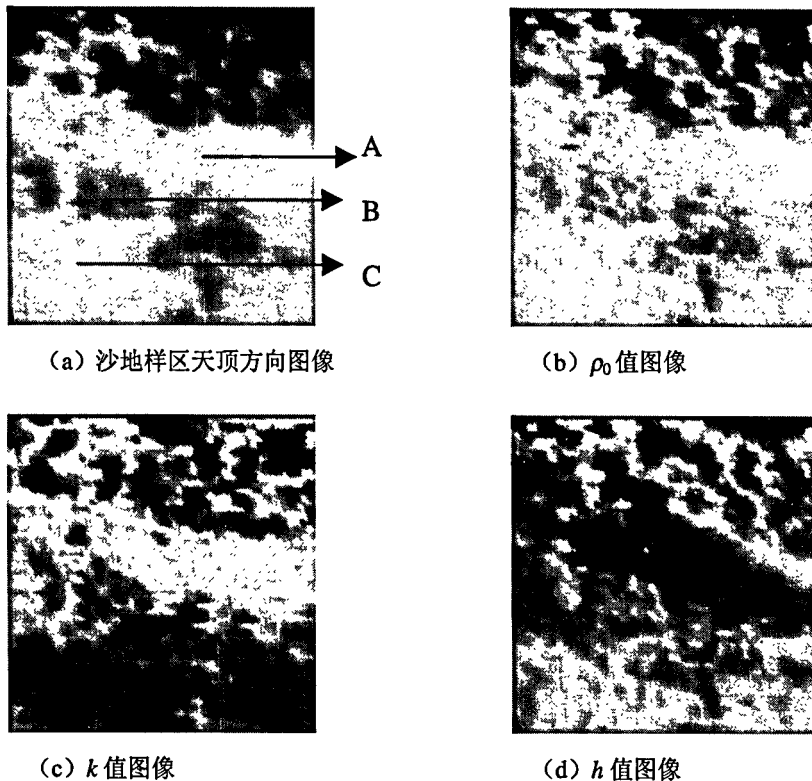


图 1 沙地样区参数反演结果图

Fig.1 Inversion result for sandy area

模型反演结果分别以各种地类的 3 个参数图和多个角度图像表示。我们以沙地样区为例(图 1)。图 1(a)为沙地样区天顶方向的图像,其中 A 为流动-

半流动沙丘地, B 为低覆盖度的天然草地, C 为植被固定的沙地;图 1(b—d)分别为沙地样区每个像元经模型反演计算的 ρ_0 、 k 、 h 值而成的图像。

从图 1 可知, 在 ρ_0 值图像中 (ρ_0 值表征地表覆盖的反射辐射强度), 其值的变化为 $A > C > B$, 这与计算出的角度图像中光谱值的变化相同, 也与实际的光谱强度相符; 在 k 值图像中 (k 值表征地表各向异性的程度), 半流动性沙丘 A 呈明显的各向异性, 而天然草地(B区)与被植被固定的沙地(C区)之间在低植被覆盖的情况下各向异性无明显差异; 在 h 值图像中 (h 值控制着前向散射与后向散射的相对量), 沙地 A 呈明显的后向散射, B 区与 C 区差异不大。

为了进一步说明 3 个参数的潜在分类能力, 我们将 3 个参数图像合并为一个 3 波段图像, 一个参数图像对应一个波段。从 A 区、B 区、C 区中分别选出若干个点的,

并画出这些点在以 3 个参数为轴的 3 维空间中的散点图(图 2)。散点图中可见, A、B、C 区的点集之间分开得较好。这充分说明尽管 ρ_0 、 k 、 h 、3 个经验参数并非明确的物理量, 但仍不难看出 ρ_0 、 k 、 h 值确有识别地物的潜在价值。

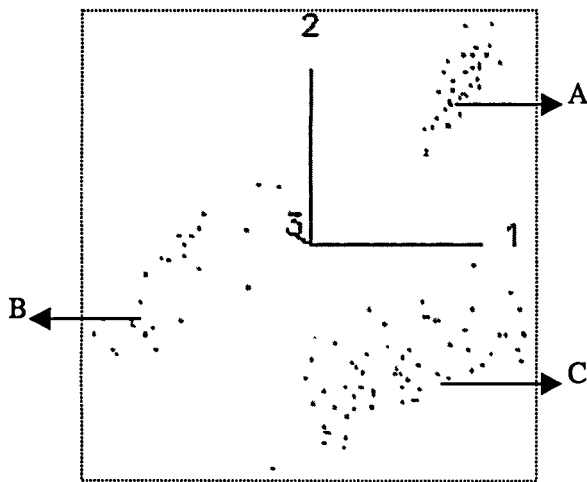


图 2 A,B,C 区的 3 维散点图
Fig.2 Scatter plot for sample sets: A, B, C

有了各种地表类型每个像元的 3 个参数 ρ_0 、 k 、 h , 代入 Rahman 地表二向反射模型, 则可得方向反射率和角度图像。根据李小文等的结论^[6], 反演内插角时的精度要高于反演外推角的精度。为此作出在太阳高度角的内插角 40° 和 50° 的情况下主平面内沙地, 天然草地, 农田 3 种地类反射率随观测角变化的曲线 (图 3)。

从图 3 中可以看出天然草地与沙地反演结果与我们在内蒙地区实测的结果比较符合, 但农田的热点效应不够明显, 这与农田作物的空间结构和“行

效应”有关。

5 讨论与结论

(1) 运用多角度 NOAA 数据, 采用 Rahman 地表二向反射半经验模型和上述分析方法, 可以反演和提取特定地表的方向信息。

(2) 所提取的地表方向反射信息不仅随观测角的变化有明显差异 (热点效应明显), 而且还与地物的空间结构有关, 这在沙地, 草地与农田反演差异中得以证实。

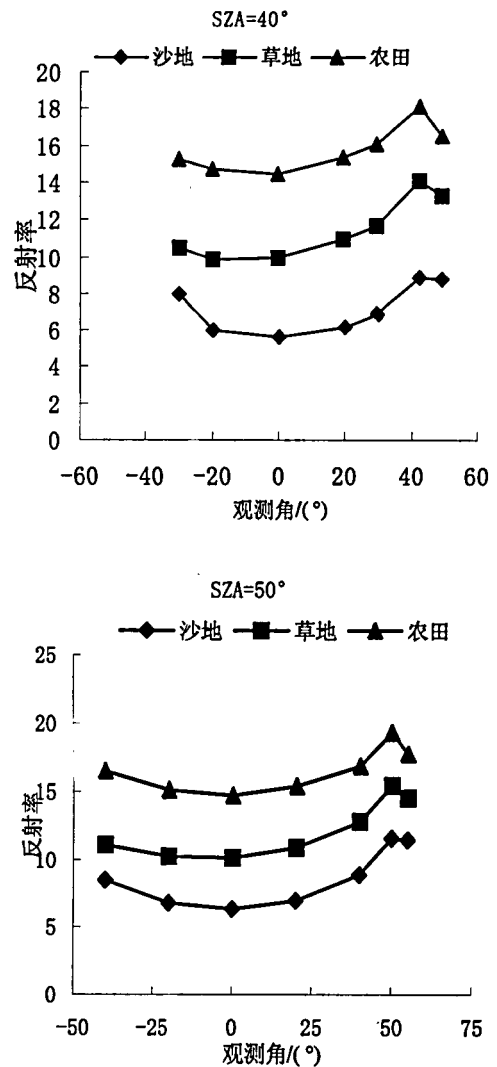


图 3 3 个样区在太阳天顶角为 40° 、 50° 时主平面内反射率随观测角变化图

Fig.3 Change of reflectance in principle plane when view angle changes, the two figure is for 40° and 50° sun zenith angle respectively

目前, 多角度卫星数据的获取存在较大困难, 而唯一可以得到 NOAA 数据又分辨率低, 数据变形较大。本项研究仅是初步的实验结果, 许多问题尚

须进一步深入。如: 在方向信息提取过程中, 即使大气的干扰作用变化不大, 但因大气路径变化引起的差异在下一步工作中应给予重视; 农田样区的模型反演误差大于沙地、草地, 热点效应也不够明显。这可能与作物的空间结构和“行效应”有关。可见, 研究植物空间结构对二向性反射的影响是相当重要的。

参 考 文 献 (Refereneces)

- [1] Roujean, J. L. M., Latoy, P. Y., Deschamps. A bidirectional reflectance model of the Earth's surface for the correction of remote sensing data[J]. *J. Geophys. Res.*, 1992, **97**: 20455—20468.
- [2] Wanner, W., X. Li, A. H. Strahler, On the derivation of kernels for Kernel-driven models of bidirectional reflectance[J], *J. Geophys. Res.*, 1995, **100**: 21077—21089.
- [3] Rahman, H., M. M. Verstraete, B. Pinty. Coupled surface-atmosphere reflectance(CSAR) model 1: model description and inversion on synthetic data[J]. *J. Geophys. Res.*, 1993, **98**: 20779—20789.
- [4] Rahman, H., B. Pinty, M. M. Verstraete. Coupled surface-atmosphere reflectance(CSAR) model 2: semiempirical surface model usable with NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer data[J]. *J. Geophys. Res.*, 1993, **98**: 20791—20801.
- [5] Zhu Chongguang, Wang Jun, Alan H. Strahler. A new registration algorithm for of ASAS Multi-angle Images[C]. Proceeding of IGARSS'94.
- [6] Wanner, W. *et al.* Global retrieval of bidirectional reflectance and albedo over land from EOS MODIS and MISR data: Theory and Algorithm[J]. *J. Geophys. Res.*, 1997, **102**(D14): 17143—17161.
- [7] P. Bicheron, *et al.* Enhanced discrimination of boreal forest covers using disrectional signatures measured by the airborne POLDER instrument[J]. *Journal of Remote Sensing*, 1997, **1**, suppl.
- [8] P. Bicheron *et al.* The application of kernel-driven BRDF models and AVHRR data to monitoring land surface dynamics in the Sahel [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1997, **1**, .suppl.

Study on Extracting Directional Information from NOAA Data

LONG Fei, ZHAO Ying-shi, XU Jian-chun

(Graduate School, Chinese Academia Sinica, Beijing)

Abstract: This paper utilizes the sequential NOAA data to extract the multi-angle image following Rahman semi-empirical model and analyzes the result in theory. According to the experimental result, the model is inverted correctly. The achieved multi-angle image coincides with real-measured data perfectly and can be explained by the model itself. The achieved three parameter-image possesses the potential value in distinguishing ground objects.

Key words: BRDF; NOAA data; model inversion; extraction of the direction information