

doi: 10.6046/gtzyyg.2013.04.10

引用格式: 孙长奎, 刘强, 闻建光, 等. 基于 HJ-1 CCD 数据的地表反照率反演[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(4): 58-63. (Sun C K, Liu Q, Wen J G, et al. An algorithm for retrieving land surface albedo from HJ-1 CCD data[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(4): 58-63.)

基于 HJ-1 CCD 数据的地表反照率反演

孙长奎^{1,2}, 刘强², 闻建光², 李丹¹, 于坤¹, 张宗贵¹

(1. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 中国科学院遥感应用研究所
遥感科学国家重点实验室, 北京 100101)

摘要: 波段设置的有限性以及有限的观测角度限制了 HJ-1 CCD 数据在地表反照率反演方面的应用。该文利用高质量的 POLDER-BRDF(双向反射分布函数)数据集分别在植被、裸土、冰雪地物覆盖下模拟了不同观测几何条件下 CCD 4 个波段的地表方向反射率的短波波段地表黑空反照率(直入扇出反照率)和白空反照率(扇入扇出反照率); 基于太阳和传感器观测几何原理对模拟数据进行分格网最小二乘回归分析, 构建了基于 CCD 4 个波段地表方向反射率和短波波段地表反照率估算模型; 选取黑河高质量的 HJ-1 CCD 数据开展了短波波段地表黑、白空反照率的反演实验, 并利用实测的地表反照率数据对模型的精度进行了评价。结果表明, 在满足验证条件的 23 组数据中, 有 21 组数据的绝对误差在 0.03 以内。

关键词: HJ-1 CCD; POLDER-BRDF; 地表方向反射率; 地表反照率

中图分类号: TP 75 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2013)04-0058-06

0 引言

2008年9月发射升空的环境与灾害监测预报卫星(HJ星)是我国第一颗专用于生态环境与质量监测的卫星。该卫星的发射成功能有效弥补地面常规监测手段的不足,为我国环境污染、自然灾害和生态破坏的大范围、全天候、实时动态监测提供了新的数据源^[1-2]。HJ-1A/B星上搭载的CCD相机具有宽覆盖、高空间分辨率、高时间频次观测的特点,在遥感参数定量反演中具有较大的优势。但是,由于波段设置的有限性以及有限的观测角度,限制了该传感器在地表反照率反演中的应用。目前,针对该类型传感器的地表反照率反演方法主要有基于大气层顶辐射的直接估算法和基于地表方向反射率的估算法2种。

基于大气层顶辐射的直接估算法将大气校正、窄波段反照率计算及窄波段向宽波段转换3个物理过程合并成1个基于统计分析的模型,利用单一观测方向的大气层顶反射率数据计算得到地表宽波段反照率^[3-6]。Li等^[7]参数化了大气层顶反射率与地表反照率之间的关系,分别得到了实时的和日平均的地表反照率数据;在地表为朗伯体

假设的前提下,Liang等分别采用神经网络方法^[8]和投影追踪法^[9]建立了大气层顶反射率与地表短波波段反照率之间的关系,并应用于MODIS产品生产中,提高了地表反照率反演的精度;考虑到地表反射率的各向异性特性,Liang等^[3]采用DISORT模型模拟了冰雪的方向性反射特征,建立了分格网的大气层顶反射率与地表短波波段反照率之间的多元线性回归关系;Liu等^[10]以POLDER-BRDF(双向分布函数)数据集作为先验数据,分格网建立了MODIS波段大气层顶反射率与地表短波波段反照率之间的线性回归关系,得到了日分辨率的地表反照率数据。

基于地表方向反射率的反演方法是指在地表为朗伯体假设的前提下,根据各波段真实地表方向反射率在太阳辐射中所占权重来反演地表反照率。Cui等^[11]在晴空条件下采用POLDER-BRDF数据集建立了地表方向反射率与窄、宽波段地表反照率之间的线性关系;Liu等^[10]在观测几何格网划分的基础上,构建了MODIS地表方向反射率与短波波段地表反照率之间的关系,估算得到了MODIS 1km分辨率的短波波段地表反照率。该方法不受地表覆盖类型和传感器波段设置的影响,在可见光波段、近红外波段和短波波段地表反照率估算中均取得了较好

的效果。

在假设不同像元尺度地表各向异性反射模式保持不变的条件下,柳钦火等^[12]引入 MODIS BRDF 模型参数,并将其作为地表下垫面各向异性反射模式的先验知识,以 HJ 星为数据源计算得到了黑、白空反照率。但该方法没有考虑不同传感器之间光谱响应函数差异所带来的影响,并且忽略了不同像元之间尺度效应的影响。为了解决该类型传感器地表反照率反演的问题,本文以 POLDER-BRDF 数据作为先验数据集,在观测几何格网划分的基础上开展了 HJ-1 CCD 数据的地表反照率反演研究。

1 地表反照率的反演原理

地表反照率反演算法的基本思路是:首先基于太阳和传感器的观测几何划分格网,然后分格网构建不同地物类型下 HJ-1 CCD 4 个波段地表方向反射率与短波波段地表反照率之间的线性回归关系。线性回归过程中用到的 HJ-1 CCD 地表方向反射率和短波波段地表反照率数据由 POLDER-BRDF 数据集模拟生成。该算法流程如图 1 所示。

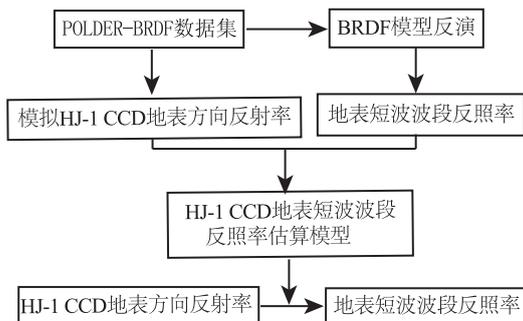


图 1 HJ-1 CCD 反照率反演算法流程

Fig. 1 Flow chart for albedo retrieval method

1.1 格网的划分

考虑到地表方向反射率除了在热点(即当观测方向与入射光的方向完全重合时,目标物的阴影将从仪器的观测视场中完全消失,所测得的反射辐射达到最大)附近以外变化都比较平缓,而 HJ-1 CCD 相机观测不到热点,格网划分如下:

- 1) 太阳天顶角在 $0^\circ \sim 80^\circ$ 之间以 2° 为间隔进行格网划分,共划分 41 个。
- 2) 观测天顶角在 $0^\circ \sim 64^\circ$ 之间以 2° 为间隔进行格网划分,共划分 33 个。
- 3) 相对方位角在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 之间以 5° 为间隔进行格网划分,共划分 37 个。

1.2 POLDER-BRDF 数据的筛选

虽然 POLDER-BRDF 数据集具有较高的质

量,并在地表 BRDF/反照率的研究中得到了广泛应用,但该数据仍有可能存在以下问题^[10]: ① POLDER 传感器接收到的信号经大气校正后得到 BRDF 数据,但是大气校正不可能完全消除大气的影响,部分数据仍然受到云和气溶胶的影响; ② POLDER BRDF 数据集的时间分辨率为 30 d,由于时间跨度大,期间地表覆盖类型有可能会发生变化,这在很大程度上会影响到数据集的质量。因此,在使用该数据集时要先对数据进行筛选。剔除无效数据的原则^[10]如下:

1) 像元均质度小于 80%。

2) 第一波段(中心波长 490 nm)的方向反射率拟合残差 $RMSE > 0.01$, 或者其除以波段的平均反射率大于 0.3。

3) 6 个波段反射率的拟合残差(RMSE)之和大于 0.1, 或者其除以 6 个波段的平均反射率大于 0.2。

4) 总观测数小于 80 个,或者观测轨道小于 4 轨。

1.3 地物分类

不同地表类型具有不同的 BRDF 形状,为了提高 HJ-1 CCD 地表短波波段反照率反演精度,利用以下准则^[10]将 POLDER BRDF 像元分为植被、冰雪和土壤 3 类,方法是:

1) 若像元 $NDVI > 0.2$, 则该像元属于植被。

2) 在剩下的像元中,若蓝光(或者红光)波段反射率大于 0.3, 则像元属于冰雪类型。

3) 剩下的像元归为土壤。

上述分类准则在具体应用时,对每一个 POLDER BRDF 数据集分别计算每个波段的平均反射率和平均 $NDVI$, 并以此作为分类依据。

1.4 地表反射率模拟

基于 POLDER-BRDF 数据的 HJ-1 CCD 地表反射率模拟的关键问题是解决不同传感器之间光谱响应不同所带来的地表反射率的差异。该问题可以通过采用经验模型建立不同传感器波段间转换关系来解决^[13], 转换模型为

$$\rho_{HJ}(\theta_s, \theta_v, \phi) = \sum_i^n c_i \rho_i(\theta_s, \theta_v, \phi) + \varepsilon, \quad (1)$$

式中: $\rho_{HJ}(\theta_s, \theta_v, \phi)$ 为 HJ-1 CCD 传感器在太阳和传感器观测几何(θ_s, θ_v, ϕ 分别为太阳天顶角、观测天顶角和相对方位角)下地物光谱反射率; $\rho_i(\theta_s, \theta_v, \phi)$ 为 POLDER BRDF 数据集第 i 波段的光谱方向反射率; c_i 为第 i 波段的波段转换系数; ε 为每个波段光谱转换模型的常数项。

在波段转换系数的计算过程中,收集了各种典型地物的光谱曲线,根据 POLDER 和 HJ-1 CCD 传

传感器各波段的光谱响应函数计算得到了 2 个传感器各个波段的地物反射率;之后,基于式(1)计算由

POLDER - BRDF 到 HJ - 1 CCD 之间的波段转换系数,结果如表 1 所示。

表 1 波段转换系数^①

Tab.1 Band conversion coefficients

波段	POLDERBRDF						offset	RMSE
	c ₁ (490)	c ₂ (565)	c ₃ (670)	c ₄ (765)	c ₅ (865)	c ₆ (1020)		
HJ - B1(484)	0.777	0.212	-0.011	0.016	0.030	-0.028	-0.006	0.003
HJ - B2(570)	0.196	0.532	0.243	0.066	-0.010	-0.032	0.001	0.003
HJ - B3(660)	0.004	0.269	0.740	-0.050	-0.009	0.052	0.004	0.003
HJ - B4(790)	0.023	-0.008	-0.025	0.426	0.537	0.052	0.001	0.002

①c₁(490)表示 POLDER 传感器第 1 波段(中心波长为 490 nm)向环境星各波段转换系数(以此类推);B1(484)表示 HJ 星第 1 波段(中心波长为 484 nm);offset 为光谱转换模型中的常数项;RMSE 为波段转换模型的拟合残差。

由表 1 可以看出,经 POLDER - BRDF 向 HJ - 1 CCD 波段转换的残差比较小,各个波段转换后的相关系数分别为 0.999 881,0.999 875,0.999 883 及 0.999 871,这表明各波段的拟合精度较高。

1.5 短波波段地表反照率模拟

POLDER - BRDF 数据基于核驱动模型反演便可得到白空反照率和不同太阳天顶角下的黑空反照率。现有核驱动模型的核函数均是针对植被和土壤 BRDF 模型简化形成的。该类型地物 BRDF 形状的特点是后向散射大于前向散射。分析 POLDER - BRDF 数据集表明,纯冰雪像元的 BRDF 模型表现

$$R(\theta_s, \theta_v, \phi, \lambda) = f_{iso}(\lambda) \cdot f_{vol}(\lambda)k_{vol}(\theta_s, \theta_v, \phi) + f_{geo}(\lambda) \cdot k_{geo}(\theta_s, \theta_v, \phi) + f_{fwd}(\lambda) \cdot k_{fwd}(\theta_s, \theta_v, \phi), (2)$$

式中:R 为地表二向性反射率;λ 为波长;f_{iso},f_{vol},f_{geo}和 f_{fwd}分别为各向同性核、体散射核、几何光学核和前向散射核的核系数;k_{vol},k_{geo}和 k_{fwd}分别为体散

出的是前向散射大于后向散射。虽然目前常用的 Ross - thick 和 Li - SparseR 核函数的组合能够拟合冰雪像元的 BRDF,但是基于该核函数的组合得到的核系数常出现负值,违背了核驱动模型作为半经验模型的物理意义,用于 BRDF 外推以及反照率计算中也会带来很大的误差。

本文在地表反照率模拟中采用了 Liu 等^[10]改进的线性核驱动模型(式(2))。该模型在原来的基础上增加了一个前向散射核函数,成为具有各向同性核、体散射核、几何光学核和前向散射核 4 个核组成的线性核驱动模型,即

射核、几何光学核和前向散射核的核函数。其中,前向散射核^[15]的核函数为

$$k_{fwd}(\theta_s, \theta_v, \phi) = \frac{\cos^{(k-1)}\theta_s \cos^{k-1}\theta_v}{(\cos\theta_s + \cos\theta_v)^{1-k}} \cdot \frac{1-g^2}{[1-g^2-2g \cdot \cos(\pi-\phi)]^{1.5}} + \frac{1+g}{2^{(1+k)}(1-g)^2}, (3)$$

式中:g=0.066 7;k=0.846。固定 g 和 k 参数可以取到前向散射占优的典型值,并忽略了热点的影响。

便可以实现窄、宽波段地表反照率之间的转换。式中:α 为短波波段地表反照率;c_i为第 i 波段的波段转换系数;α_i为第 i 波段的窄波段反照率。

在有雪和无雪覆盖的情况下,地表反照率从窄波段向短波波段的转换系数如表 2 所示。

基于线性转换模型

$$\alpha = c_0 + \sum_i c_i \alpha_i (4)$$

表 2 地表反照率从窄波段向短波波段的转换系数^①

Tab.2 Albedo conversion coefficients from short - band to broad - band

地类	c ₀	c ₁ (490)	c ₂ (565)	c ₃ (670)	c ₄ (765)	c ₅ (865)	c ₆ (1 020)
非冰雪	0.011 3	0.161 0	-0.024 6	0.382 7	-0.002 3	0.030 9	0.317 4
冰雪	-0.003 2	0.243 2	0.059 8	0.252 6	0.056 2	0.067 8	0.249 3

① c₀为转换模型中的常数项;c₁(490)为中心波长为 490 nm 波段的地表窄波段反照率向短波波段的反照率转换的转换系数(以此类推)。

1.6 回归系数查找表的构建

HJ - 1 CCD 地表多波段方向反射率与短波波段地表白、黑空反照率之间的关系可以分别表示为

$$\alpha_{ws} = c_0 + \sum_i c_i \rho_i(\theta_s, \theta_v, \phi), (5)$$

$$\alpha_{bs}(\theta_s) = c_0 + \sum_i c_i \rho_i(\theta_s, \theta_v, \phi), (6)$$

式中:α_{ws}和 α_{bs}分别为短波波段地表白空和黑空反照率;θ_s为黑空反照率对应的太阳天顶角,0°~80°之间以 5°为间隔设置了 17 个。对于每一种地物类型以及每个太阳观测角度格网,都可以通过最小二

乘求解法计算到一组回归系数,构建回归系数查找表。

2 反演实验

本文选取了 2011 年 7,8 月份质量较好的 HJ-1 CCD 数据进行反演实验。首先利用 Sun^[15] 提出的大气校正方法进行大气校正,获取地表反射率数据;然后开展了反照率反演实验,其结果如图 2 所示。

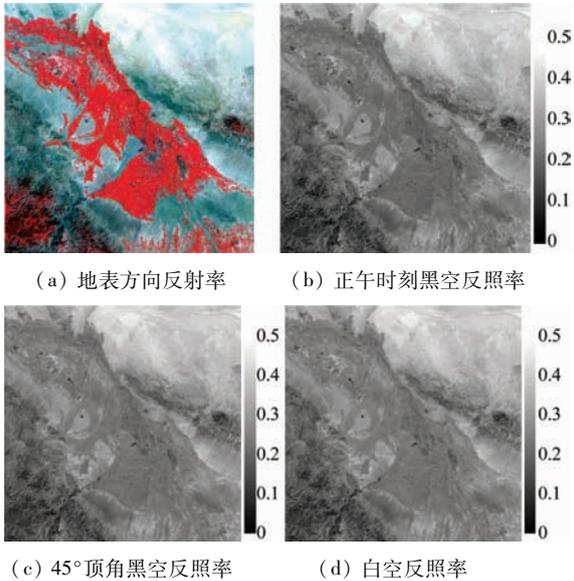


图 2 HJ-1 CCD 图像及其地表反照率

Fig. 2 HJ-1 CCD image and albedo products

图 2(a)为 2011 年 8 月 9 日获取的一景 HJ-1 CCD 地表反射率图像。图像上包含了沙漠、荒漠、绿洲、草地等主要地物,是进行多元生态系统研究的典型数据代表。可以看出,通过本文方法反演得到的研究区地表反照率主要集中在 0~0.5 之间,分布在合理的范围内。绿洲草地的反照率明显低于荒漠、沙漠等的反照率;但随着植被覆盖度的降低,地表反照率值变大。

3 精度评价

为了验证本文反照率反演算法的精度,在 2011 年 7,8 月份开展了相应的反照率实地测量实验,获取了高精度的地表反照率测量数据。

3.1 地面实测地表反照率的太阳天顶角订正

由于黑空反照率是太阳天顶角的函数^[16-18],而真实的地表反照率是黑空反照率与白空反照率的加权之和,因此地表反照率为太阳天顶角的函数。地面实测反照率数据与卫星过境时间不同步,需要考虑地表反照率随太阳天顶角的变化,从

而得到与卫星过境时刻同步的地面实测地表反照率数据^[19]。本文基于 Wang 等^[20]提出的二参数地表反照率日变化模型,对地面实测反照率进行太阳天顶角订正。

太阳天顶角为 θ 时黑空反照率 α_{bs} 表示为

$$\begin{cases} \alpha_{bs} = \alpha_r \{1 + B_1 [g_1(\theta) - g_1(60^\circ)] + B_2 [g_2(\theta) - g_2(60^\circ)]\} \\ g_1(\theta) = -0.007574 - 0.070987\theta^2 + 0.307588\theta^3 \\ g_2(\theta) = -1.284909 - 0.166314\theta^2 + 0.04184\theta^3 \end{cases}, (7)$$

式中: α_r 为太阳天顶角 60° 时的黑空反照率; B_1 和 B_2 为经验常数,表示太阳天顶角 60° 时的 f_{vol} 和 f_{geo} 之间的比例。则太阳天顶角为 θ 时的白空反照率 α_{ws} 表示为

$$\alpha_{ws} = \alpha_r (1 - 0.093762B_1 + 0.044101B_2). (8)$$

图 3 是基于二参数日变化模型模拟的地表反照率随太阳天顶角的变化。模拟时假定太阳天顶角为 60° 时的地表真实反照率为 0.2,裸土、庄稼地、草地的 (B_1, B_2) 依次取 $(0.346, 0.063)$, $(0.62, 0.13)$ 和 $(0.57, 0.12)$ 。

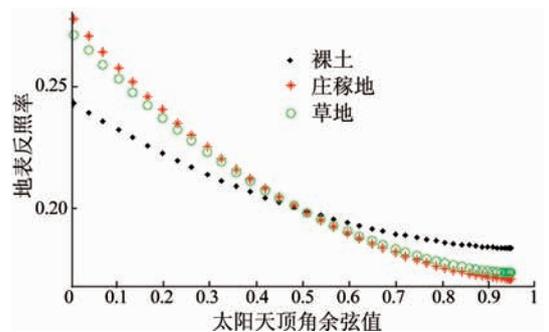


图 3 地表反照率随太阳天顶角变化

Fig. 3 Correlation between albedo and solar zenith angle

由图 3 可以看出:不同地表覆盖类型的地表反照率随着太阳天顶角的变化趋势相同,但变化幅度不同;植被覆盖类型地表的二向性明显,地表反照率随着太阳天顶角的变化幅度比较大。

3.2 反演算法精度评价

图 4 为实验期间各日期地表反照率反演的绝对误差分布。在满足验证条件的 23 组数据中,所有精度都在 0.05 以内。其中有 21 组数据的反演精度在 0.03 以内。验证结果表明,本文提出的地表反照率反演方法具有较高的精度,但是,仍然有 2 组数据的反演精度低于 0.03。对比各天的地表反照率反演精度以及实测当天的大气参数可知,天空晴朗无云、大气能见度高时,地表反照率反演精度较高,当天空有云覆盖,特别是薄云覆盖时,由于云检测的不彻底,会降低反照率反演的精度。

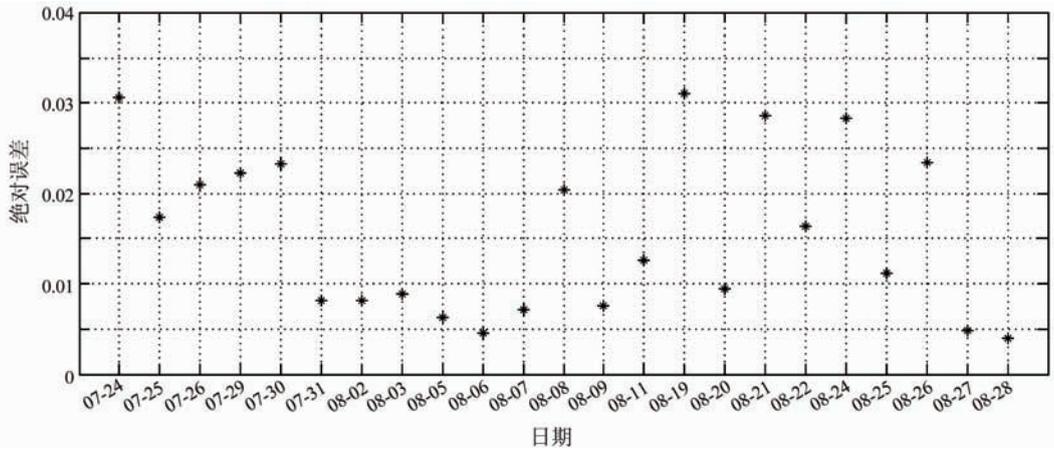


图 4 实验期间各天地表反照率绝对误差分布

Fig. 4 Absolute error distribution of each measuring days

4 结论

1) 利用 POLDER - BRDF 数据集作为先验知识可以解决 HJ - 1 CCD 传感器在地表反照率反演中因波段设置和观测角度受限所带来的问题。

2) 基于地表方向反射率的地表反照率估算方法不受传感器波段设置以及观测角度的限制,可以用于估算高空间分辨率的地表反照率。

3) 本文提出的地表反照率反演算法具有较高的精度,但是仍存在一些不足。今后将对大气校正精度对算法精度的影响、不同传感器之间像元尺度效应的影响、以及积雪的地表反照率反演等问题作为研究重点。

志谢: 感谢中国资源卫星中心提供 HJ - 1 A/B CCD 数据; 感谢 2011 年黑河实验期间所有参与人员。

参考文献 (References):

[1] Sun L, Sun C K, Liu Q H, et al. Aerosol optical depth retrieval by HJ - 1/CCD supported by MODIS surface reflectance data [J]. Science China Earth Science, 2010, 53 (1): 74 - 80.

[2] Wang Q, Wu C Q, Li Q. Environment satellite 1 and its application in environmental monitoring [J]. Journal of Remote Sensing, 2010, 14 (1): 104 - 121.

[3] Liang S L, Stroeve J, Box J. Mapping daily snow/ice shortwave broadband albedo from moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): The improved direct retrieval algorithm and validation with Greenland in situ measurement [J]. Journal of Geophysical Research, 2005, 110, D10109, doi: 10. 1029/2004JD005493.

[4] Dickinson R. Land processes in climate models [J]. Remote Sensing of Environment, 1995, 51 (1): 27 - 38.

[5] Liang S L. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I algorithms [J]. Remote Sensing of Environment, 2000, 76 (2): 213 - 238.

[6] Liang S L, Shuey C J, Russ A L, et al. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo II validation [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 84 (1): 25 - 41.

[7] Li Z Q, Garand L. Estimation of surface albedo from space: A parameterization for global application [J]. Journal of Geophysical Research D Atmospheres, 1994, 99 (4): 8335 - 8350.

[8] Liang S L, Strahler A, Walthall C. Retrieval of land surface albedo from satellite observations: A simulation study [J]. Journal of Applied Meteorology, 1999, 38 (6): 712 - 725.

[9] Liang S L. A direct algorithm for estimating land surface broadband albedos from MODIS imagery [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41 (1): 136 - 145.

[10] Liu Q, Qu Y, Wang L Z, et al. GLASS - Global land surface broadband albedo product: Algorithm theoretical basis document version 1. 0 [M]. Beijing: Beijing Normal University, 2010.

[11] Cui Y, Mitomi Y, Takamura T. An empirical anisotropy correction model for estimating land surface albedo for radiation budget studies [J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113 (1): 24 - 39.

[12] 柳钦火, 仲波, 吴纪桃, 等. 环境遥感定量反演与同化 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.

[13] Liu Q H, Zhong B, Wu J T, et al. Environment quantitative remote sensing inversion and assimilation [M]. Beijing: Science Press, 2011.

[14] Liang S L. Quantitative remote sensing of land surfaces [M]. Hoboken: Wiley - IEEE, 2004.

[15] Rahman H, Verstraete M M, Pinty B. Coupled surface - atmosphere reflectance (CSAR) model I: Model description and inversion on synthetic data [J]. Journal of Geophysical Research, 1993, 98 (11): 20779 - 20789.

[16] Sun C K, Sun L, Ma S F, et al. Atmospheric correction method based on HJ - 1 CCD data [J]. Journal of Remote Sensing, 2012, 16 (4): 826 - 836.

[17] Dickinson R E, Henderson A, Kennedy P J. Biosphere atmosphere transfer scheme (BATS) version 1e as coupled to the NCAR community climate model [R]. NCAR Technical Note NCAPPIN 387 + STR, 1993

[18] Wang Z, Barlage M, Zeng X B. The solar zenith angle dependence of desert albedo [J]. Geophysical Research Letters, 2005, 32 (5), L05403, doi: 10. 1029/2004GL021835.

- [18] Wiscombe W, Warren S G. A model for the spectral albedo of snow [J]. *Journal of Atmospheric Sciences*, 1980, 37(12): 2712-2733.
- [19] Zhang R H, Tian J, Li Z L, et al. Principles and methods for the validation of quantitative remote sensing products [J]. *Sci China Ser Earth Sci*, 2010, 53(5): 741-751.
- [20] Wang Z, Zeng X B, Barlage M. Moderate resolution imaging spectroradiometer bidirectional reflectance distribution function-based albedo parameterization for weather and climate models [J]. *Journal Geophysical Research*, 2007, 112, D02103, doi: 10.1029/2005JD006736.

An algorithm for retrieving land surface albedo from HJ-1 CCD data

SUN Changkui^{1,2}, LIU Qiang², WEN Jianguang², LI Dan¹, YU Kun¹, ZHANG Zonggui¹

(1. *China Aero Geophysical Survey & Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China*;

2. *State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*)

Abstract: Because of the limitation of band and observation settings, it is difficult to use HJ-1 CCD imagery to retrieve land surface albedo. In this paper, the authors developed a new algorithm for HJ-1 CCD land surface albedo retrieval by introducing POLDER BRDF data as the support. In this algorithm, POLDER-BRDF datasets are used to simulate surface reflectance of HJ-1 CCD four bands and short-wave white/black sky albedo under the conditions of various solar-view geometries and different land cover types (vegetation, bare soil, snow and ice); then land surface albedo estimating model can be calculated under different grids using the Least Squares Fitting method. The input of this algorithm are four bands surface reflectance of HJ-1 CCD camera. Twenty-three HJ-1 CCD images were selected to retrieve land surface albedo using this proposed method. A comparison with measured surface albedo indicates that the error of 21/23 albedos is less than 0.03 in absolute value.

Key words: HJ-1 CCD; POLDER-BRDF; surface reflectance; land surface albedo

第一作者简介: 孙长奎(1986-),男,助理工程师,硕士,主要从事遥感科学技术与应用方面的研究工作。E-mail: sunchangkui@163.com。

(责任编辑: 刁淑娟)