

文章编号: 1007-4619(2000)增-0001-07

新几何光学核的验证以及用核驱动模型 反演地表反照率(之一)

李小文^{1,2}, 高峰^{2,4}, 刘强³, 王锦地¹, A.Strahler²

(1.北京师范大学 遥感与地理信息系统研究中心, 北京 100875; 2.波士顿大学遥感中心, Boston Univ. USA;

3. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101; 4. 中国科学院 南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008)

摘要: 基于核驱动模型的 AMBRALS 程序将用于提供 MODIS 的反照率和二向反射产品。该文提出一个新的几何光学核—LiTransit 核, 用以取代目前 AMBRALS 运行程序中的 LiSparseR 核。当植被及阴影总面积在视场中比例接近于 1 时, 新核由 LiSparse 核向 LiDense 核自然过渡。因而新核兼有 LiSparse 核向 LiDense 核的优点, 比 LiSparseR 核更符合几何光学模型的基本原理。对于 29 组地面观测数据的反演试验表明: LiTransit 核有与 LiSparse 核相当的数据拟合能力, 外推到大的天顶角时有 LiDense 核的稳定性; 与 LiSparseR 核比较, RossThick-LiTransit 的核组合更能反映直入扇出反照率随太阳天顶角变化的趋势。用 NOAA AVHRR 多时相数据反演的结果, 也表明 RossThick-LiTransit 组合在反演中更为稳定。

关键词: 反照率; 核驱动模型; MODIS; AMBRALS

中图分类号: TP701/O435 **文献标识码:** A

1 反照率与 AMBRALS 算法

陆地地表反照率 (Albedo) 是一个广泛应用于地表能量平衡、中长期天气预测和全球变化研究的重要参数, 定义为地表向各个方向反射的全部光通量与总入射光通量的比。过去, 全球反照率的数据主要是从覆被、土壤、气象数据中推测出来, 或者是使用经验公式, 从单一角度的卫星遥感数据中计算的。基于单一方向的遥感数据的反照率算法, 常常假定地表为朗伯反射。然而, 自然条件下地表的反射是各向异性的, Kimes 的研究认为朗伯表面的假设会在反照率计算中引起高达 45% 的误差^[1]。

为了从遥感数据中准确的推算反照率, 必须考虑反射的方向性特征。地表的方向反射可用关于光线入射方向和观察方向的函数来描述, 称为二向反射函数 (BRDF)。二向反射函数对于观测方向在半球空间的积分, 就得到了我们所说的直入扇出反照率, 也称方向-半球反照率。若天空晴朗无云, 则直

入扇出反照率可近似地表的真实反照率。直入扇出反照率总是对应于一定光线入射方向而言的, 把直入扇出反照率在光线入射方向的半球空间积分, 就得到扇入扇出反照率, 也称双半球反照率。阴天或天空光均匀时, 地表的反照率可以用扇入扇出反照率很好地刻画。直入扇出反照率与扇入扇出反照率, 都是理想情况下的定义, 自然条件下纯粹的直射光或完全均匀的天空光都很少见, 但这两种反照率的组合却能在很大程度上描述地表的真实反照率。

二向反射函数和反照率的计算, 都需要多角度的遥感数据。现有的多角度遥感数据, 一部分来自地面测量, 以 Deering 使用的 PARABOLA 仪器为典型; 另一部分来自多角度传感器, 如机载 ASAS、POLDER 模拟器, 或者 NOAA AVHRR 多时相复合数据。美国即将发射的 EOS (地球观测系统), 将使对地遥感进入全新的时代。届时 MISR 和 MODIS 两个多角度遥感探测器, 将提供大量的地表方向反

收稿日期: 1999-12-15; 修订日期: 2000-08-10

基金项目: 国家攀登项目 (95-预-38); 国家重点基础研究发展规划项目 (G20000779); NASA 项目 (NAG5-7217、NAS5-31369) 资助。

作者简介: 李小文 (1947—), 男, 教授。1985 年在美国加州大学圣巴巴拉分校获地理学博士、电子与计算机工程硕士学位。长期从事遥感基础研究, 已发表研究论著 100 余篇/部。现为国家攀登项目、国家重点基础研究发展规划项目首席科学家。

射观测数据,在理想情况下,每9天人们可从EOS得到全球陆地每平方公里像元的9个方向4个波段的MISR观测值和此期间积累的数个到数十个MODIS多波段观测值。EOS将以MODIS和MISR为数据源,提供以16天为周期的全球反照率和BRDF(二向反射率)产品,数据处理的算法称为AMBRALS(Algorithm for MODIS Bidirectional Reflectance Anisotropies of the Land Surface)。

2 新几何光学核(LiTransit)的导出

2.1 核驱动模型简介

AMBRALS算法的理论基础是核驱动的线性模型,该模型用有一定物理意义的核的线性组合来拟合地表的二向性反射特征。简单的说,核驱动模型可用下式表示^[2]:

$$R(\theta_i, \theta_v, \varphi) = f_{iso} + f_{geo}k_{geo}(\theta_i, \theta_v, \varphi) + f_{vol}k_{vol}(\theta_i, \theta_v, \varphi) \quad (1)$$

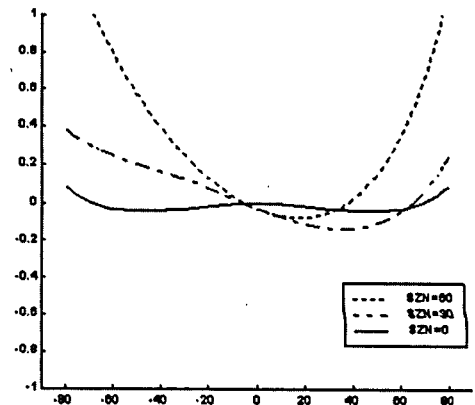
其中 R 为二向反射率, k_{geo} 为几何光学核, k_{vol} 为体散射核,都是光线入射角和观察角的函数。 θ_i 为光线入射天顶角, θ_v 为观测天顶角, φ 为相对方位角。 f_{iso} 、 f_{geo} 和 f_{vol} 则是常系数,分别表示各向均匀散射、几何光学散射、体散射这三部分所占比例(权重)。

AMBRALS算法通过线性回归,反演出拟合观测数据最优的 f_{iso} 、 f_{geo} 、 f_{vol} ,然后通过核的外推可求出任意光线入射角和观察角的二向反射。计算反照率时,因为核是与待反演参数无关的函数,核的积分可预先求出,只要把核的积分以 f_{iso} 、 f_{geo} 、 f_{vol} 为权重相加,就得到相应的直入扇出或扇入扇出反照率。作为一种半经验模型,核驱动模型具有经验模型的简洁、高速、数据拟合能力强等优点,使之能够处理来自EOS的大量数据。同时,几何光学核与体散射核都有一定的物理意义,这使得我们在外推模型到没有观测数据的方向时,有希望能够解释和控制外推的结果。

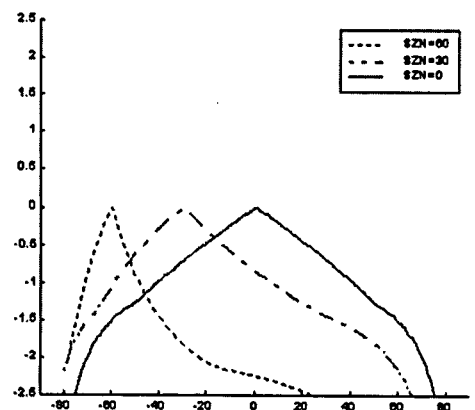
2.2 Li-Sparse核与Li-SparseR核的缺陷

在AMBRALS的最初构想中,为了适合不同的地表类型,模型提供了不同的核的组合(几何光学-体散射),可供选择的体散射核为RossThin(罗斯薄层)、RossThick(罗斯厚层),几何光学核为LiSparse(李氏稀疏)、LiDense(李氏致密)。

然而,作为MODIS产品的标准算法,用户希望AMBRALS的规则尽量简化,即只固定选取一种核组合。经过大量的验证工作^[3],人们发现RossThick核与LiSparse核的组合对实测数据的拟合能力最佳^[4]。RossThick为体散射核,适于描述稠密均匀植被、叶倾角球型分布的情形;LiSparse则是几何光学核,描述稀疏分布不均匀的树冠或其它不透明几何体。一般来说,RossThick刻画了“浅碗状”的方向反射(图1a),在大的观测天顶角反射率增强;而LiSparse则刻画了“丘状”的方向反射(图1b),热点在后向反射方向。



(a) RossThick



(b) LiSparse

图1 浅碗状的RossThick核以及丘状的LiSparse核
(a)、(b)分别给出RossThick和LiSparse核在主平面的截面图,虚线到实线对应于不同的太阳天顶角

Fig.1 Bowl shaped RossThick kernel and dune shaped LiSparse kernel

然而,除了拟合数据的能力以外,选择一个核的更重要的标准是它的外推能力。LiSparse核适合于描述稀疏的植被冠层及其阴影,当冠层及其阴影逐渐充满视场时,LiSparse核就应该过渡到LiDense

核。在近似导出的 LiSparse 核过程中用到

$$e^{-x} \cong 1 - x \quad (2)$$

这里的 x 就是上面说到的视场中植被及其阴影的总面积与视场总面积的比, 该量基本正比于 $\sec(\theta_v)$ 。当观测天顶角大时, x 接近或超过 1, 这种近似不再成立。因此, 用 LiSparse 核拟合的模型, 在外推到大的天顶角时失去了物理意义, 甚至会出现负的反射率。

人们基于互易原理提出了一种补救方法, 这就是所谓的 LiSparseR 核^[5], 它改进了 LiSparse 核的外推能力, 其中的原因分析如下。LiSparse 核可以表示为:

$$k_{Sparse}(\theta_i, \theta_v, \varphi) = A(\theta_i, \theta_v, \varphi) - B(\theta_i, \theta_v, \varphi) \quad (3)$$

其中

$$A(\theta_i, \theta_v, \varphi) = P(\theta_i, \theta_v, \varphi) \sec(\theta_v),$$

$$B(\theta_i, \theta_v, \varphi) = \sec(\theta_i) + \sec(\theta_v) - O(\theta_i, \theta_v, \varphi),$$

P 和 O 都是关于 θ_i 、 θ_v 互易的函数(详见 Wanner et al., 1995)^[2]。为了使核互易, 在 A 项中加入 $\sec(\theta_i)$, 使之变为:

$$k_{SparseR}(\theta_i, \theta_v, \varphi) = P(\theta_i, \theta_v, \varphi) \sec(\theta_v) \sec(\theta_i) - B(\theta_i, \theta_v, \varphi) \quad (4)$$

如前所述, LiSparse 核外推时出现的问题在于: 当天顶角大时, B 变得非常大, 使得反射率为负值。现在添加 $\sec(\theta_i)$ 到前面正项中, 改善了这一缺陷。而对于实际观测来说, 太阳天顶角的变化总是较小, $\sec(\theta_i)$ 接近于常数, 因此这一添加项几乎不影响核的数据拟合能力。由于这些原因, Li-SparseR 被选为目前 AMBRALS 运行程序的标准核。

尽管如此, Li-SparseR 仍不能完全避免反射率为负的特殊情况。而且, 在遥感像元尺度应用互易原理的理论依据并不充足, 李小文等(1999)指出若遥感像元内有不对称的“串线比”, 则 Helmholtz 互易原理将在这一尺度失效^[6]。因此, 人为改写核为互易形式的做法不能为人们普遍接受。

2.3 新的几何光学核—LiTransit (李氏过渡)

为了解决这个问题, 我们回到最初的几何光学(GOMS)模型, 则可以看到: 对于稠密冠层或天

顶角大的情形, 若树冠与阴影所占面积接近视场总面积, 就应该转而使用 LiDense 核, 该核对于任意的或 $\sec(\theta_v)$ 都是稳定的。

$$k_{Dense}(\theta_i, \theta_v, \varphi) = 2k_{Sparse}(\theta_i, \theta_v, \varphi) / B(\theta_i, \theta_v, \varphi) \quad (5)$$

因此我们设想了一种核的过渡的方法, 对于小的天顶角使用 LiSparse 核, 天顶角大时则使用 LiDense 核。我们希望这种过渡既能更准确地反映原来几何光学模型的特征, 又不降低拟合数据的能力。基于这些考虑, 我们设计了一个新核, 称之为 LiTransit (李氏过渡) 核:

$$k_{Transit} = \begin{cases} k_{Sparse} & , B \leq 2 \\ k_{Dense} = \frac{2}{B} k_{Sparse} & , B > 2 \end{cases} \quad (6)$$

以 $B = 2$ 作为过渡条件是非常自然的想法, 因为这时 $k_{Sparse} = k_{Dense}$, 核函数将保持很好的连续性。当然这种自然的过渡是否准确、是否就是最好的选择, 还需用数据来检验。

3 Li-Transit 核与其它核的比较

我们总共用 29 组测量数据进行了试验, 这 29 组数据中, 有 27 组在以前的试验中已经使用过^[7], 另外两组来自于 Deering 对北方森林的二向反射的观测^[3]。本文所有的试验, 都选用 RossThick 核作为体散射核。

3.1 LiTransit 与 LiSparse、LiDense 核的比较

令 SSE 表示对数据集拟合残差的平方和, SSE 小则说明核的拟合能力好。对这 29 组数据拟合试验的结果如表 1:

表 1 不同几何光学核拟合数据能力比较

Table 1 Data fitting ability for different sets of kernels

核组合	SSE 最小	SSE 次小	SSE 最大	总计试 验次数
RossThick-LiTransit	8	21	0	29
RossThick-LiSparse	19	3	7	
RossThick-LiDense	2	5	22	

从表中看, LiTransit 核比 LiSparse、LiDense 核拟合效果都好的数据有 8 组。对另外 21 组数据, LiTransit 核的拟合效果介于其它两个核之间, 我们详细考察了这 21 组数据, 发现它们可分为 3 种情况:

(1) LiTransit 与 LiSparse 核的拟合效果相差

不大。(12 组数据)

例如,对“玉米”这组数据反演的结果(表 2), LiSparse 核的拟合残差只比 LiTransit 核小 0.000127 (相对值 0.3%)。

表 2 LiTransit 与 LiSparse 核反演“玉米”数据的结果
Table 2 Inversion result of “corn” data set by LiTransit and LiSparse kernel respectively

SSE	Li-Transit	Li-Sparse
扇入扇出反照率(红光)	0.0924	0.0214
扇入扇出反照率(近红外)	0.2073	0.1053

然而,用 LiSparse 核反演的反照率却与 LiTransit 核反演的结果相差很大。究竟哪一个结果更合理呢?注意到测量数据中,“玉米”方向反射率的范围是:红光:0.0497—0.2634;近红外:0.1299

—0.4981。显然, LiSparse 核反演的反照率太低,与数据不符。这说明 LiSparse 核外推到大的天顶角时不再有效。

(2) LiSparse 的拟合残差明显比 LiTransit 小。(7 组数据)

这样数据集包括土壤、田野、稀疏植被的观测。以“土壤 1”为例,拟合的结果, RossThick-LiSparse 组合的残差为:0.027309。RossThick-LiTransit 组合的残差为:0.035740。然而分析 LiSparse 给出的反照率产品,我们发现扇入扇出半球反照率明显低于任何一个太阳天顶角的直入扇出半球反照率,这不符合反照率的物理意义。用 LiTransit 核反演给出的反照率产品,其直入扇出半球反照率与 LiSparse 结果相近,扇入扇出半球反照率则更为合理。(表 3、表 4)所有 7 组数据都显示了同样的特征。

表 3 LiSparse 核反演“土壤 1”数据的反照率产品

Table 3 Albedo products for“soil1” data set, inverted by LiSparse kernel

太阳天顶角	直入扇出反照率 (RossThick-LiSparse)				扇入扇出反照率
	Nadir	30°	45°	60°	
红光	0.163225	0.162315	0.161883	0.160044	0.147459
近红外	0.223696	0.223254	0.223746	0.223453	0.207355

表 4 LiTransit 核反演“土壤 1”数据的反照率产品

Table 4 Albedo products for“soil1” data set, inverted by LiTransit kernel

太阳天顶角	直入扇出反照率 (RossThick-LiTransit)				扇入扇出反照率
	Nadir	30°	45°	60°	
红光	0.182863	0.172480	0.164256	0.163362	0.171636
近红外	0.246793	0.235252	0.226725	0.227965	0.236552

(3) LiDense 核拟合效果最好。(3 组数据)

这类数据对应于稠密植被, LiDense 核与 LiTransit 核能较好地拟合数据, LiTransit 核稍次于 LiDense 核, LiSparse 的拟合效果最差。反照率产品, LiDense 核与 LiTransit 核都比较稳定。

由以上试验结果可以得出结论:数据拟合能力方面,对于多数中等植被覆盖度的地表, LiTransit 核与 LiSparse 核相当,对于稠密植被, LiTransit 核优于 LiSparse 核,对于裸地, LiTransit 核稍次,但结果可以接受;反演反照率产品稳定性方面,在上述 3 种情况中,用 LiTransit 核能够反演得到有物理意义的反照率,而 LiSparse 核表现不稳定。因此,若我们不得不对任何地表类型选取同一个几何光学核,则无论 LiSparse 核还是 LiDense 都不合适。

3.2 LiTransit 核与 LiSparseR 核的比较

RossThick-LiSparseR 为目前 AMBRALS 运行

程序的标准核组合,设计 LiTransit 核的目的,就是为了在 AMBRALS 的下一个版本中取代 LiSparseR 核。那么,这两个核各有什么利弊呢?我们从 3 方面加以衡量:(1)拟合数据的能力;(2)直入扇出反照率随天顶角变化的趋势;(3)扇入扇出反照率。

对 29 组试验数据中的 21 组, LiTransit 核在以上 3 方面表现都相似于 LiSparseR 核。试验结果有区别的数据主要是对低植被覆盖地面的观测,包括田地,稀疏草地,土壤,稀疏谷物,大草原。

这些地表类型方向反射的趋势都是直入扇出反照率随天顶角增大而减小,让我们以“针叶林”的观测数据为例对这种趋势加以说明。“针叶林”虽然不属于低植被覆盖地面,但它的方向反射率趋势与上述几组数据相似。“针叶林”这一组数据的方向采样非常充足。如前所述,直入扇出反照率就是二向反射函数对观测天顶角与方位角的积分。我

们有了方向反射率（测量数据），用加权平均代替积分，即可近似得到对应于各太阳天顶角的直入扇出反照率。

表 5 给出不同的几何光学核反演“针叶林”数据所得直入扇出反照率，表中所谓“测量”反照率就是以测量反射率直接加权平均计算的。由于 PARABOLA 仪器无法测量观测天顶角大于 75° 的方向反射，因此“测量”反照率的绝对数值并不准确，但是它反映的直入扇出反照率随太阳天顶角变化的趋势却是可信的。从表 5 中看，太阳天顶角 35° — 65° 这一段，直入扇出反照率大致呈下降趋势，这可由几何光学模型解释，天顶角大于 65° 直入扇出

反照率又逐渐上升，这可由体散射模型解释。

对比不同的核反演反照率的结果，可以看到：只有用 LiTransit 核反演的结果能很好地表现直入扇出反照率变化的趋势（相关度 0.5201）。

直入扇出反照率随太阳天顶角增加而减小的趋势在许多数据中都存在。让我们再看一组数据反演的结果(表 6)。

这是红光波段对“田野”数据反演的结果。由于这一组数据的方向采样不足够用于直接计算反照率的参考值，我们很难判断哪一个核组合反演所得的反照率更可信，所以只能用反演所得参数做一些间接分析。

表 5 几何光学核反演“针叶林”数据所得直入扇出反照率的趋势

Table 5 Black-Sky albedo products for “pine” data set, inverted by different GO kernels

太阳天顶角	直入扇出反照率			
	测量	LiSparse	LiTransit	LiSparseR
35°	0.0272	0.0283	0.0315	0.0245
40°	0.0277	0.0283	0.0305	0.0250
45°	0.0266	0.0284	0.0295	0.0256
50°	0.0272	0.0284	0.0287	0.0264
55°	0.0269	0.0285	0.0279	0.0274
60°	0.0262	0.0284	0.0274	0.0287
65°	0.0252	0.0280	0.0271	0.0303
70°	0.0261	0.0269	0.0272	0.0325
74°	0.0280	0.0247	0.0277	0.0346
与测量所得反照率的相关系数:		-0.3376	0.5201	-0.1487

表 6 几何光学核反演“田野”数据所得直入扇出反照率的趋势

Table 6 Black-Sky albedo products for “fields” data set, inverted by different GO kernels

核组合	不同天顶角的直入扇出反照率			
	0°	30°	45°	60°
RossThick-LiSparse	0.183	0.180	0.178	0.171
RossThick-LiTransit	0.201	0.189	0.168	0.148
RossThick-LiDense	0.221	0.190	0.171	0.153
RossThick-LiSparseR	0.186	0.183	0.185	0.194

表 7 反演“田野”数据的结果和拟合的残差

Table 7 Fitting residual by different GO kernel for “field” data set

核组合	拟合系数			拟合残差
	f_{iso}	f_{vol}	f_{geo}	
RossThick-LiSparse	0.269	0.261	0.063	0.0158
RossThick-LiTransit	0.333	0.078	0.148	0.0312
RossThick-LiDense	0.331	-0.001	0.114	0.0416

我们知道 RossThick 描绘了浅碗状的核，LiSparse 则是丘状的核。RossThick 核对应的直入扇出反照率随太阳天顶角的增大稍有上升趋势，而 LiSparse 核所对应的直入扇出反照率则随太阳天顶角的增大而迅速下降。相比之下，LiTransit 与 LiDense 的这种反照率下降趋势比较平缓。从反演的拟合残差(表 7)看，LiSparse、LiTransit、LiDense 核拟合的残差渐次增大，说明：在测量到的角度范

围内(太阳天顶角 38° — 45° ，观测天顶角 9° — 46°)，田野的直入扇出反照率有随太阳天顶角增大而迅速下降的趋势；只有 LiSparse 核能较好地反映这种趋势，而 LiTransit、LiDense 核则因为直入扇出反照率下降缓慢，不得不靠降低 RossThick 核的权重来拟合数据。

前面已经证明，LiSparse 核虽然拟合数据很好，但在外推能力上有重大缺陷，因此我们只能在其它

核中选择一个较好的。对于“田野”这组数据，LiTransit 的拟合能力优于 LiDense。

对于互易的 LiSparseR 核，由于人为添加了 $\sec(\theta_i)$ 一项，改变了直入扇出反照率随太阳天顶角变化的趋势。因此，用 LiSparseR 核反演“田野”这一组数据时，虽然拟合残差介于 LiSparse 核与 LiTransit 核之间，但是直入扇出反照率的趋势却完全倒了过来。

3.3 照率计算中核的稳定性

多时相 NOAA AVHRR 数据曾被用于检验 AMBRALS 算法^[8, 9]。因此我们也用了新英格兰地区的 AVHRR 数据来比较 RossThick-LiTransit 与 RossThick-LiSparseR 核组合在反演中的稳定性。

用 AVHRR 数据反演二向反射模型的一个难题是信息量不足，这主要指对同一像元的方向采样太少或噪声太大。因此，我们只反演了观测数大于 7 的所有 95172 个像元。尽管如此，仍有许多像元的反演失败。我们以反演所得扇入扇出反照率 (WSA) 小于 0 或大于 1 为判断反演失败的条件。表 8 给出不同的核组合，反演失败的像元的个数。

表 8 不同的核组合直接反演 NOAA AVHRR 数据失败的像元数

Table 8 Number of failed inversion for NOAA AVHRR data

核组合	RED		NIR	
	WSA < 0	WSA > 1	WSA < 0	WSA > 1
RossThick-LiTransit	1478	0	3	0
RossThick-LiSparseR	28321	10	677	1678

可见 RossThick-LiTransit 组合在反演中表现的比 RossThick-LiSparseR 稳定。

表 8 的结果来自对数据直接应用线性回归反演。AMBRALS 运行程序使用 LU 算法做线性回归，一定程度上改进了处理病态问题的能力，但仍然存在许多问题。在后面的文章中，我们将介绍如何引进先验知识改善反演。

4 结 论

从试验的结果可以看出：我们提出的新核—LiTransit 核，有着与 LiSparse 核相当的数据拟合

能力，外推能力却比 LiSparse 核优越；与现行 AMBRALS 程序使用的 LiSparseR 核相比，多数情况下两个核表现相似，对于有差别的数据集，LiTransit 核在反映直入扇出反照率的趋势方面明显优于 LiSparseR 核。在理论分析上，作为 LiSparseR 核理论依据的互易原理在遥感像元尺度并不成立，而 LiTransit 核则是对几何光学模型如实的近似。

因此，在 AMBRALS 程序的下一个版本中，RossThick-LiTransit 的核组合将取代现有的 RossThick-LiSparseR 组合。

参 考 文 献 (Refereneces)

- [1] Kimes, D. S., P. J. Seller. Inferring hemispherical reflectance of Earth's surface for global energy budgets from remotely sensed nadir or directional radiance values[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1985, 18: 205—223.
- [2] Wanner, W., X. Li, A. Strahler. On the derivation of kernels and kernel-driven models of bidirectional reflectance[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995, 100(D10): 21077—21089.
- [3] Hu, B., W. Lucht, X. Li, A. Strahler. Validation of kernel-driven models for the BRDF of land surfaces[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 62:201—214.
- [4] Privette, J. L., E. F. Vermote. Fitting remote sensing data with linear bidirectional reflectance models[C]. *Proc. SPIE Symp. Satell. Remote Sens.*, 1995, 2586, 172—179.
- [5] Lucht, W. AMBRALS User's Guide. Version 3.0, ftp.crsa.bu.edu, 1998.
- [6] Li, X., J. Wang, A. Strahler. Apparent Reciprocity Failure in BRDF of Structured Surfaces[J], *Progress of Natural Science*, accepted, 1999.
- [7] Wanner, W., Strahler, A. H., Hu, B., Lewis, P., Muller, J. -P., Li, X., Barker Schaaf, C. L., Barnsley, M. J.. Global retrieval of bidirectional reflectance and albedo over land from EOS MODIS and MISR data: Theory and algorithm[J]. *Journal Geophysical Research*, 1997, 102(D24): 17,143—17,162.
- [8] Strugnell, N., W. Lucht. Continental-scale albedo inferred from AVHRR data, landcover class and field observations of typical BRDFs. submitted to *J. Clim.*, 1999.
- [9] Feng Gao, A.H. Strahler, W. Lucht, Zongguo Xia, Xiaowen Li. Retrieving albedo in small sample size[C]. *IGARSS'98 proceedings*, 1998, 5:2411—2413.

Validation of a New GO Kernel and Inversion of Land Surface Albedo by Kernel-Driven Model (1)

LI Xiao-wen^{1,2}, GAO Feng^{2,4}, LIU Qiang³, WANG Jin-di¹, A. Strahler²

(1. Research Center for Remote Sensing and GIS, Beijing Normal University, Beijing 100875, P.R. China;

2. Center for Remote Sensing, Boston University, Boston MA 02215, USA;

3. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, P.R. China;

4. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P.R. China)

Abstract: Kernel-driven BRDF model was applied in AMBRALS (algorithm for MODIS land surface BRDF and albedo products). In this paper, we derived a new Geometrical-Optical (GO) kernel — LiTransit — to substitute the LiSparseR kernel, which is currently used in AMBRALS. The new kernel is a natural transition from LiSparse to LiDense kernel when vegetation become filling the field of view. LiTransit has the advantage of both LiSparse and LiDense, and accords more to the basic concept of GO model. Experimental results of 29 ground measured BRDF data sets show: LiTransit has similar data fitting ability with LiSparseR, but more stability when extrapolated to large zenith angles; comparing with Rossthick-LiSparseR, the combination of RossThick-LiTransit shows more accordance with albedo's downward tendency with respect to increasing sun zenith. Our inversion result with NOAA-AVHRR data also suggests that the results derived by RossThick-LiTransit are more robust.

Key words: albedo; kernel-driven BRDF model; MODIS; AMBRALS