

两种普适性尺度转换方法比较与分析研究

吴 骅^{1,2}, 姜小光³, 刁晓环³, 李传荣³, 李召良¹

1. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049;
3. 中国科学院 光电研究院, 北京 100080

摘 要: 着重阐述了地表空间信息尺度转换的必要性和方法。首先从尺度转换成因分析入手, 介绍了两种普适性的尺度转换模型, 即泰勒级数展开模型和计算几何模型, 并对这两个模型的适用性进行了分析。借助叶面积指数的反演, 针对林地、农田、水体 3 种不同下垫面的试验样区进行了模型的分析比较。结果表明, 在拥有小尺度(高分辨率)数据时, 泰勒级数模型能够很好的刻画尺度效应, 使得尺度效应改正后的相对误差小于 1%, 获取更为准确的地表参数反演值。遥感尺度转换方法、技术为获取不同尺度的地学信息, 为资源调查和环境灾害监测等相关领域的应用提供真实可靠的多尺度数据支持。

关键词: 遥感, 尺度效应, 尺度转换, 叶面积指数

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引 言

20 世纪遥感技术的产生为地表要素的区域测量和估算提供了强有力的手段, 使得信息的获取从传统的“点”测量向“面”测量有了质的飞跃。遥感技术能够实时快速地获取大范围的地球表层空间信息, 为资源调查、环境监测、灾害预报等提供了有效的技术手段。利用遥感技术能够迅速、准确、高效、全面地获取地学信息, 为地学研究提供有力的数据保障。遥感技术将在地学研究领域发挥越来越广泛的作用。

当前, 遥感技术已进入量化阶段, 定量遥感要考虑尺度效应、尺度转换的问题。一方面, 遥感反演算法和模型基本上是在小尺度地表均一的情况下建立起来的, 当强行将这些算法和模型运用到大尺度时就必然会产生一定的误差, 需要进行尺度转换; 另一方面, 与人类相关的地学信息具有区域尺度的概念。例如天气预报、环境监测、农作物长势和产量估算、灾情评估、植被、土壤类型和地质构造调查等是在一定的尺度上进行的(张仁华等, 1999), 对这些事物发生、发展过程的表述具有一定的尺度, 例如从小块农田计

算出的土壤含水量不能用于大范围的农业干旱监测。也就是说, 局部信息代替不了区域分布信息, 观测尺度、模型尺度与地表过程尺度之间的差异, 可能会造成对事物发生、发展过程的监测、预报得出截然不同的结论。由此可见, 对地学信息进行空间尺度转换是生产实践的必然要求。尺度效应的存在严重制约了定量遥感反演精度的提高, 限制了定量遥感应用的发展(李小文, 2006)。尺度问题是定量遥感亟待解决的问题, 它引起了国内外众多学者的关注, 成为定量遥感研究中的热点。

基于以上考虑, 本文从地表常见参数——叶面积指数的尺度转换研究入手, 借助两种普适性的尺度转换模型, 分析了叶面积指数的尺度效应和尺度转换规律, 为真实可靠的获取不同尺度的其他地学信息拓展了思路。

2 尺度转换的思路与方法

2.1 尺度转换成因分析

尺度转换就是将数据或信息从一个尺度转换

收稿日期: 2007-09-17; 修订日期: 2008-03-16

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目“地表时空变化特征参数的遥感定量描述与尺度转换”(编号: 2007CB714402); 中国科学院知识创新工程方向性项目(KGCX3-SYW-401); 国家杰出青年科学基金项目(编号: 40425012)。

第一作者简介: 吴 骅(1980—), 男, 中国科学院地理科学与资源研究所在读博士, 研究方向为遥感信息尺度转换、真实性检验等, 已发表论 3 篇。

到另一个尺度的过程。尺度效应始于海岸线长度的测量,由此 Mandelbrot 在 20 世纪 70 年代中期创建了“分形理论和分数维”的全新数学概念。此后数年间,尺度效应和尺度转换的研究迅速扩展到地理学、生物学、物理学、天文学、信息学等领域 (Raffy, 1988)。

在遥感领域,从高分辨率到低分辨率的尺度转换称为尺度扩展或尺度上推 (up-scaling),反之则称为尺度压缩或尺度下推 (down-scaling) (Liang, 2004)。不同分辨率遥感数据的存在,使得研究尺度转换成为必然。图 1 展示了不同分辨率的遥感卫星获取像元测量值的示意图。

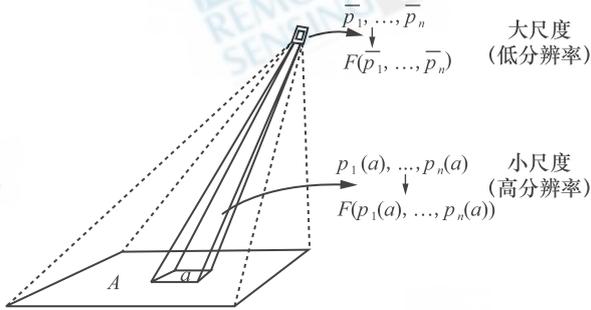


图 1 不同分辨率的遥感卫星获取像元测量值的示意图
Fig. 1 A diagram of retrieving land surface parameters through remote sensing satellite at different scales

图 1 中, a 代表了小尺度 (高分辨率) 卫星单个像元所对应的地表区域, $p_1(a), \dots, p_n(a)$ 为该像元各个波段对应的数据测量值。 A 代表大尺度 (低分辨率) 卫星单个像元所对应的地表区域, $\bar{p}_1, \dots, \bar{p}_n$ 为该像元各个波段对应的数据测量值。 F 为反演地表参数所需的反演函数, $F(p_1(a), \dots, p_n(a))$ 为遥感反演后的小尺度地表参数值, $F(\bar{p}_1, \dots, \bar{p}_n)$ 为遥感反演后的大尺度地表参数值, 它是对整个区域 A 的综合反映, 即:

$$F(\bar{p}_1, \dots, \bar{p}_n) = F\left(\frac{1}{|A|} \iint_A (p_1(a), \dots, p_n(a)) da\right) \quad (1)$$

由于遥感反演函数 F 通常建立在小尺度地表均一的情况下, 因此直接利用大尺度的测量数据反演估算区域地表参数可能造成一定的误差。理论上, 区域的地表参数值是区域范围内各均一下垫面地表参数值的面积加权值, 即:

$$\bar{F} = \frac{1}{|A|} \iint_A F(p_1(a), \dots, p_n(a)) da \quad (2)$$

如果区域地表参数的直接反演值 $F(\bar{p}_1, \dots, \bar{p}_n)$ 和理论面积加权值 \bar{F} 相同, 那么不同尺度之间的

数据具有可比性, 地表参数能够直接从一个尺度转换到另一个尺度。然而, 实际情况并非如此, 由于尺度的不同, 两者有可能存在较大的差异, 即尺度效应, 定量分析两者之间的关系是研究尺度转换的关键。这里尺度效应由式 (3) 给出。

$$\delta_{scale} = \bar{F} - F(\bar{p}_1, \dots, \bar{p}_n) \quad (3)$$

2.2 尺度转换模型介绍

在小尺度和大尺度像元信息同时获取的基础上, 通过对尺度上推的研究, 可以发现用不同尺度信息源表达同一客观事物的差异, 即一般性尺度转换的规律。至此, 我们建立两个普适性的尺度转换模型, 一种是泰勒级数展开 (Taylor series expansion) 模型, 另一种是计算几何 (computational geometry) 模型。

2.2.1 泰勒级数展开模型

以一维为例, 假设反演函数 F 至少两阶连续可导, 那么将函数值 $F(p(x, y))$ 在测量均值 \bar{p} 处, 用泰勒级数展开 (Becker & Li, 1995), 忽略三阶及三阶以上各项并结合中值定理, 有:

$$\bar{F} = \frac{1}{A} \int F(p(x, y)) dA = \frac{1}{A} \int \left(F(\bar{p}) + (p(x, y) - \bar{p}) \times \frac{\partial F}{\partial p} \Big|_{\bar{p}} + \frac{1}{2} (p(x, y) - \bar{p})^2 \frac{\partial^2 F}{\partial p^2} \Big|_{p^*} \right) dA \quad (4)$$

整理简化公式 (4), 得:

$$\bar{F} - F(\bar{p}) = \frac{1}{2} kV \quad (5)$$

式中, $k = \frac{\partial^2 F}{\partial p^2} \Big|_{p^*}$; $V = \frac{1}{A} \int (p(x, y) - \bar{p})^2 dA$ 。

这里 p^* 为空间域 A 中的某个特定值, 近似可取 $p^* \approx \bar{p}$ 。

根据上面的泰勒级数展开式, 相应的建立如下的尺度转换模型:

$$R(\bar{p}) = F(\bar{p}) + \frac{1}{2} kV \quad (6)$$

这里参数 k 表征反演函数的非线性程度; 参数 V 是衡量地表非均一程度的指标, 如果数据测量值为一维标量 $p_1(x, y)$, 那么 k 就是反演函数的二阶导数, V 就是地表数据测量值的方差; 如果数据测量值是多维矢量 $p(x, y) = [p_1(x, y), p_2(x, y), \dots, p_n(x, y)]$, 那么 k 就是反演函数的二阶导数和二阶偏导数的综合反映, V 是地表数据测量值方差和协方差的结果。从泰勒级数展开模型发现: 当反演函数 F 为线性时, 其二阶导数 $k = 0$, 在这种情况下, $\bar{F} = F(\bar{p})$; 当区域 A 内数据测量值 $p(x, y)$ 均一时, 其方差和协方差都为 0, 即 $V = 0$, 在这种情况

下, $\bar{F} = F(\bar{p})$ 。故而,当反演函数为线性或者地表数据测量值均一时,地表参数的反演不存在尺度效应,这与其他学者的研究结论完全相同 (Garrigues *et al.*, 2006; Hu & Islam, 1997)。

2.2.2 计算几何模型

计算几何模型是基于几何学中凸集的概念发展起来的,根据凸集理论,无论地表数据测量值 $p(x,y)$ 在空间域内如何分布,式(7)恒成立 (Raffy, 1992):

$$\bar{F} \in [F_V(\bar{p}), F^A(\bar{p})] \quad (7)$$

式中, $F_V(\bar{p})$ 是反演函数 F 在空间域中所对应的下包络线, $F^A(\bar{p})$ 是反演函数 F 对应的上包络线,如图2。

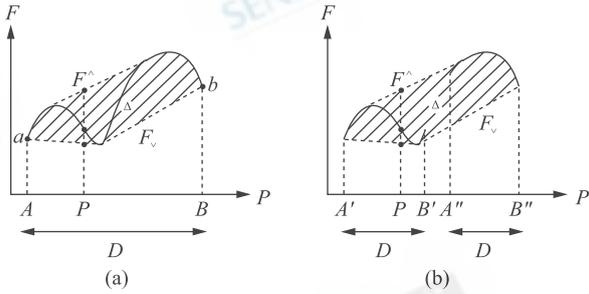


图2 反演函数 F 及其对应的上下包络线

(a) 反演函数连续的情况;

(b) 反演函数不连续的情况(引自 Pelgrum(2000))

Fig. 2 The model and its bounding models

(a) Continuous case;

(b) Discontinuous case (Adapted from Pelgrum 2000)

由于不管独立测量值 $p(x,y)$ 的概率如何分布, \bar{F} 总是在上包络线 $F^A(\bar{p})$ 和下包络线 $F_V(\bar{p})$ 所确定的范围内变化,即 $\bar{F} \in [F_V(\bar{p}), F^A(\bar{p})]$,那么 $F^A(\bar{p}) - F_V(\bar{p})$ 必将是尺度转换的最大误差 Δ_{\max} 。在未知独立测量值的分布情况下,假设理论反演值随着独立测量值的分布,均匀的分布在上下包络线之间,综合考虑,取上下包络线的均值在一定程度上降低尺度转换的误差,减小尺度效应。利用这个假设,相应的可以建立如下尺度转换模型:

$$R(\bar{p}) = \frac{1}{2} [F_V(\bar{p}) + F^A(\bar{p})] \quad (8)$$

从公式(8)可以看出,当模型 F 为线性时, $F = F^A(\bar{p}) = F_V(\bar{p})$,在这种情况下, $\bar{F} = F(\bar{p})$;当数据测量值 $p(x,y)$ 为均一时,空间域变为一个点,此时仍旧满足 $F = F^A(\bar{p}) = F_V(\bar{p})$,同样地 $\bar{F} = F(\bar{p})$ 。这就是说,反演函数 F 为线性或者地表参数均一时,尺度转换前后无差异,不存在尺度效应。计算几何模型虽然不能明确的将反演函数 F 的非线性程度和地表参数的非均一

性同估算的尺度效应直接挂钩,但是它仍旧可以从一个侧面反映出两者对尺度转换的综合影响。

2.3 模型的适用性

从模型的建立过程可以发现,泰勒级数模型使用简便,模型原理容易理解,但是它必须满足一定假设条件,即反演函数 F 必须连续,在空间域内处处可导,且导数也连续。由于模型是用 \bar{p} 来近似的取代空间域 D 中的某个特定值 p^* ,因此当反演函数的非线性程度比较大的时候,那么这个近似所带来的误差就不能不考虑在内了。此外,模型需要知道地表参数的局部方差,因此必须同时存在小尺度和大尺度的遥感数据。正是这些原因的存在,导致了泰勒级数展开模型在使用的时候受到了部分限制。相对于泰勒级数展开模型而言,计算几何模型适用于各种反演函数,无论这些函数是否连续,且可以不考虑独立测量值的分布情况,即不需要小尺度的遥感数据,仅凭借独立测量值范围的先验知识就能够进行尺度转换,需要注意的是上下包络线的确定取决于空间域范围,因此空间域范围的先验知识越精确,尺度转换就越精确。同样,计算几何模型也存在着自身的不足,当其面对维数(变量)众多的反演函数时,由于包络线的求取需要大量的计算时间和特殊的优化算法,因此尺度转换也会略显复杂。另外,由于计算几何模型的建立没有考虑到地表参数的实际分布情况,因此会对尺度转换的精度造成一定的影响。在实际应用过程中,需要考虑这两个模型各自的优缺点和适用范围,根据实际情况进行选择。

3 尺度转换的应用

为了展现尺度转换对于高精度定量遥感反演的贡献,揭示尺度转换的意义和作用,下面将以叶面积指数的尺度转换为例,将上述尺度转换模型应用到实际的遥感数据上。这里分别从相邻两景 2004-05-23 和 2004-06-02 北京地区获取的 SPOT5 多光谱数据上截取了3种不同下垫面 1000 行 \times 1000 列的试验样区数据,其空间分辨率为 10m,如图3。

为了简便起见,仅考虑 NDVI 的空间异质性对尺度效应的影响,我们首先假设 SPOT5 每个像元内的地物均一,通过近红外和红光波段求取了每个像元所对应的 NDVI 值。然后分别以 $50 \times 50, 100 \times 100, 200 \times 200, 500 \times 500, 1000 \times 1000$ 像元进行聚合,相应的得到了 500, 1000, 2000, 5000, 10000m 的 NDVI 低分辨率模拟数据。然后通过式(9)来反演叶面积指数。

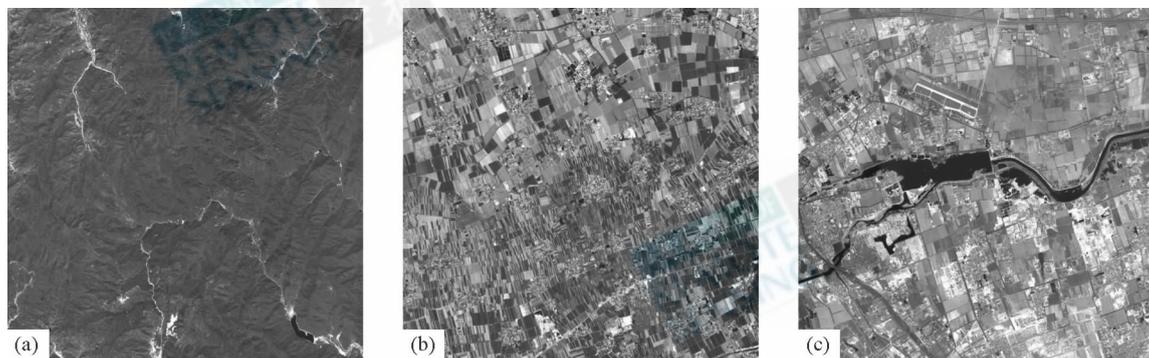


图3 不同下垫面的试验样区影像图

(a)林地;(b)农田;(c)水体

Fig. 3 Three different Land surface testing images

(a) Wood Land; (b) Farm Land; (c) Crop-water mixed Land

$$LAI = - \frac{\ln((1 - NDVI/A)/B)}{C} \quad (9)$$

式中 A, B, C 为经验系数, A, B 通常接近于 1, 当叶倾角为球形分布时, C 约为 0.5 (张仁华等, 1999)。由于尺度效应、尺度转换才是研究的重

点, 所以这里并不对式(9)反演叶面积指数的精度进行分析。根据式(1), (2), (6) 和(8) 分别计算出了大尺度、小尺度上推、泰勒级数模型改正和计算几何模型改正后的 LAI 均值, 如表 1。

表 1 水体、农田和森林不同尺度下反演的 LAI 均值 (针对 1000 行 × 1000 列样区而言)
Table 1 The retrieval LAI value for the whole region at different scales for wood land, farm land and crop-water mixed land (row 1000 × column 1000)

类型	聚合尺寸/像元	大尺度 LAI 均值			
		小尺度上推	大尺度估算	泰勒级数模型	计算几何模型
林地 (NDVI 均值为 0.421; 方差为 0.097)	50 × 50	1.120	1.103	1.121	1.104
	100 × 100	1.120	1.101	1.122	1.102
	200 × 200	1.120	1.098	1.122	1.099
	500 × 500	1.120	1.095	1.123	1.096
	1000 × 1000	1.120	1.094	1.123	1.096
农田 (NDVI 均值为 0.136; 方差为 0.126)	50 × 50	0.315	0.296	0.314	0.297
	100 × 100	0.315	0.294	0.314	0.295
	200 × 200	0.315	0.292	0.313	0.294
	500 × 500	0.315	0.292	0.313	0.293
	1000 × 1000	0.315	0.292	0.313	0.293
水体 (NDVI 均值为 0.057; 方差为 0.087)	50 × 50	0.127	0.119	0.126	0.120
	100 × 100	0.127	0.118	0.126	0.119
	200 × 200	0.127	0.118	0.126	0.118
	500 × 500	0.127	0.117	0.126	0.118
	1000 × 1000	0.127	0.117	0.126	0.118

理论上而言, 小尺度上推获取到的 LAI 为 SPOT5 多光谱 10m 分辨率对应的 LAI 理论反演值,

因此为了比较几种模型的优劣, 利用式(10)计算了 LAI 反演的相对误差, 如图 4, 其中同一方法内相同

颜色的柱状图表明采用了不同大小的聚合尺度：

$$RE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|x_i - y_i|}{y_i} \quad (10)$$

这里 N 为小尺度数据按一定尺寸大小聚合后

样区的像元总数； x_i 为大尺度直接估算、泰勒级数模型改正或者计算几何模型改正后的大尺度像元的 LAI 值； y_i 为小尺度上推为大尺度像元的 LAI 值。

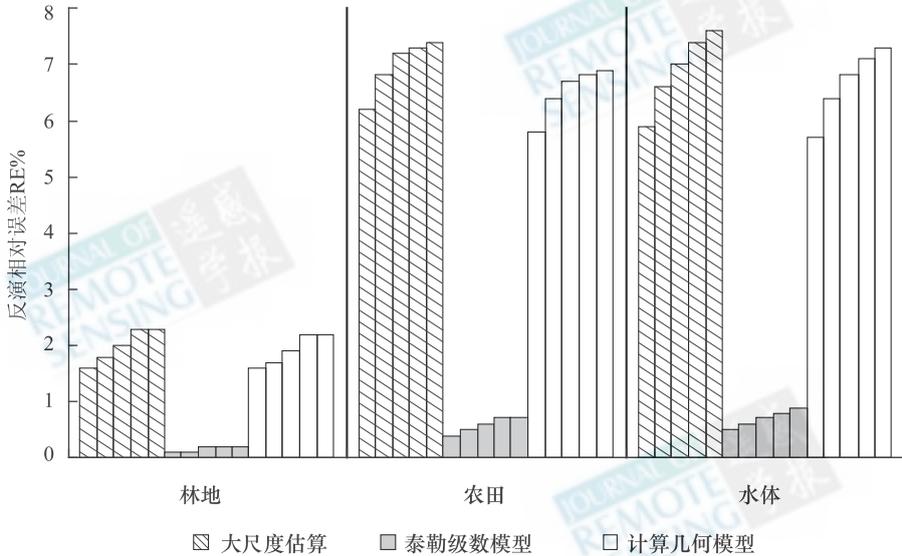


图 4 大尺度估算、泰勒级数模型和计算几何模型在不同聚合尺度下的相对反演误差 RE

Fig. 4 The relative retrieval error of LAI at different aggregation scales

由表 1 可知,同小尺度上推反演的 LAI 理论反演值相比,大尺度估算的 LAI 值偏低,这与式(7)的关系式相吻合(\bar{F} 等同于小尺度上推后的 LAI 值, $F_V(\bar{p})$ 等同于大尺度估算的 LAI 值)。由图 4 可知,随着聚合尺度的增大,地表不均一性也随之增大,大尺度估算、泰勒级数模型和计算几何模型反演的 LAI 相对误差呈上升趋势。如果不经模型改正,直接使用大尺度数据进行 LAI 的反演,那么对于林地、农田和水体 3 种不同下垫面而言,尺度效应造成的相对误差分别为 2%,7%,7%。随着林地、农田、水体 3 种下垫面地表不均一程度的增大,相应的也会造成反演相对误差的增大。如果两种反差很大的地物混合在一起,尺度效应造成的误差会高达 45% (Chen, 1999),由此可见,进行尺度效应的改正尤为重要,特别是在地表不均一程度很大的时候。相对而言,林地的均一程度最大,因此尺度效应造成的相对误差最小,仅为 2%,即使不做尺度效应的改正, LAI 的反演结果也是可以接受的。农田和水体混合的样区,下垫面组成稍显复杂,包括裸地、植被以及水体,地表不均一性比林地大很多,尺度效应造成的相对误差不可忽略,必须对尺度效应进行改正。对于农田和水体,泰勒级数模型改正后 LAI 相对误差低于 1%,而计算几何模型改正后 LAI 相对误差仍很大,尺度转换的效果并不理想,这

可能是由于计算几何模型建立的假设条件与样区地类的实际分布情况不太一致造成的。在拥有小尺度数据的前提下,泰勒级数展开模型优于计算几何模型,它能够很好的刻画尺度效应。通过泰勒级数展开模型能很好的将大尺度的 LAI 数据进行尺度转换,得到对应的小尺度上推反演的 LAI 理论反演值,相对误差小于 1%。通过尺度转换,能够获得 LAI 更为准确的反演值,这有助于后续研究工作的开展。

4 结论和展望

由于地学规律的研究通常需要区域尺度的地学信息,因此不可避免的产生了常规测量方法同实际需要在尺度上的矛盾。虽然遥感技术能够解决区域数据的获取问题,但是由于反演模型通常建立在小尺度之上,因此将这些模型直接运用在大尺度遥感数据上,还是会造成一定的误差。同时,不同遥感数据源获取的多尺度地学信息之间,会因为尺度的不同造成它们不具有可比性。此外,观测尺度、模型尺度与地表过程尺度之间的差异,可能会造成对事物发生、发展过程的监测、预报得出截然不同的结论。由此可见,尺度转换意义重大,它是有效利用多源遥感信息的前提和基础,尺度效应、

尺度转换问题的解决能更好的推动定量遥感的发展,为资源调查、环境灾害监测等各相关领域的应用提供真实可靠的多尺度数据支持。

文中通过对不同尺度信息源表达同一客观事物差异的分析,在尺度转换成因分析基础上,阐述了一般性的尺度转换规律,重点介绍了两种普适性的尺度转换模型,即泰勒级数展开模型和计算几何模型。这两个模型能根据已有的先验知识对大尺度遥感数据进行尺度转换,获取对应的小尺度上推理论反演值。对于泰勒级数展开模型,它适用于具有连续可导的反演函数。在有高分辨率遥感数据支持的情况下,能很好的进行“面”到“面”不同尺度之间的信息转换。例如在多源不同尺度的遥感数据综合利用过程中,可以借助已有的小尺度数据,统计大尺度数据单个像元对应范围内的局部方差,进而直接进行所需的尺度转换。通过尺度转换,一方面使得不同尺度的数据具备了可比性,数据反演结果更加真实可靠,另一方面,也为不同尺度遥感产品的交叉验证打开了方便之门。值得注意的是,在实际遥感应用过程中,我们往往很难同时获取到小尺度和大尺度的遥感数据。通常情况下获取的多为常规测量方法观测的“点”数据,例如,大气温度数据仅仅通过若干个设立的气象观测台站观测获取到。那么在这种情况下,我们需要采用有效的采样策略,通过半方差函数来估算像元局部方差值(Garrigues *et al.* 2006),比如增加采样点个数或者采取分层(区)采样策略。对于计算几何模型而言,它适用于各种反演函数,不受函数连续或者可导性的限制,能解决“点”到“面”或者“面”到“面”的尺度转换。通过计算几何模型,能够大致的定性判断大尺度估算的结果。如果反演函数是凸函数,那么大尺度估算会高估理论反演值,反之如果反演函数是凹函数,那么大尺度估算会低估理论反演值。计算几何模型需要事先确定观测数据的空间域范围,空间域范围决定了上下包络线的取值,空间域越精确,尺度转换结果就越可靠。如果存在小尺度的遥感数据,那么空间域范围可以从小尺度数据上直接获取。如果仅仅观测数据是离散的“点”数据,在假设观测数据满足正态分布的前提下,可以取均值 ± 2 倍方差作为空间域的范围。当反演函数维数众多时,包络线的求取需要大量的计算时间和特殊的优化算法,因此基于计算几何模型的尺度转换也会略显复杂。在实际应用过程中,需要考虑这两个模型各自的优缺点和适用范围,根据实际情况选择合适

的尺度转换模型。

为了展示两种模型尺度转换的实际效果,我们借助叶面积指数的反演,针对林地、农田、水体3种不同混合下垫面的试验样区,分别进行了模型的分析 and 比较。结果表明,如果直接进行大尺度估算,那么比较均一的林地仍有可能造成2%的相对误差。随着地表不均一程度的加大,大尺度直接估算的误差越来越大。对于混有农田、水体的混合像元,这种相对误差可能达到7%。在拥有小尺度(高分辨率)数据时,使用泰勒级数展开模型能够很好的刻画尺度效应,获取更为准确的地表参数反演值,对于这3种试验样区,尺度效应改正后相对误差小于1%。相比之下,计算几何模型改正后LAI相对误差仍很大,尺度转换的效果不理想,甚至同未经改正的大尺度直接估算结果差别不大。这可能是由于计算几何模型的建立没有考虑到地表参数的实际分布情况,权重1/2的取值可能不合理,对尺度转换的精度造成一定的影响,如何确定上下包络线的权重是后续研究的重点。

现在,遥感数据尺度转换是国际上公认的难题。由于不同数据源在尺度上的巨大差异,遥感探测的各种各样的地表参数的机理复杂多样,陆地表层系统的非均匀性和非线性性,使得尺度转换研究非常复杂困难。目前对尺度效应和尺度转换的研究仍处于起步阶段,尺度转换的方法和模型还不够成熟、完善,各模型还有其各自的适用条件。尺度转换的相关理论、方法研究仍需要继续深入开展。引入新的数学方法定量考虑局部地表非均一性对尺度效应的影响是今后开展尺度转换研究的有效途径。

REFERENCES

- Becker F and Li Z L. 1995. Surface temperature and emissivity at various scales: Definition, Measurement and Related Problems. *Remote Sensing Reviews*, **12**: 225—253
- Chen J M. 1999. Spatial scaling of a remotely sensed surface parameter by contexture. *Remote Sensing of Environment*, **69**:30—42
- Garrigues S, Allard D, Baret F and Weiss M. 2006. Influence of landscape spatial heterogeneity on the non-linear estimation of leaf area index from moderate spatial resolution remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, **105**(4): 286—298
- Hu Z and Islam S. 1997. A framework for analyzing and designing scale invariant remote sensing algorithms. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, **13**: 747—755
- Li X W. 2006. Review of the project of quantitative remote sensing of major factors for spatial-temporal heterogeneity on the land surface. *Advances in Earth Science*, **21**(8): 771—780

- Liang S L, 2004. Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces. New Jersey, A John Wiley & Sons. INC. , Publication
- Pelgrum H. 2000. Spatial Aggregation of Land Surface Characteristics. PhD thesis, Wageningen University, Netherlands
- Raffy A M. 1988. Remote sensing from space: physical aspects and modelling. Centre National D' etudes Spatiales. Autosimilarity, Change of Scale and Remotely Sensed Parameters. France: Cepadues-Editions. 421—481
- Raffy A M. 1992. Change of scale in models of remote sensing: a general method for spatialization of models. *Remote Sensing of Environment*, **40**: 101—112

- Zhang R H, Sun X M, Su H B, Tang X Z and Zhu Z L. 1999. Remote sensing and scale transferring of levity parameters on earth surface. *Remote sensing for land and resources*, **3**:51—59

附中文参考文献

- 李小文. 2006. 地球表面时空多变要素的定量遥感项目综述. *地球科学进展*, 2006, 21(8): 771—780
- 张仁华, 孙晓敏, 苏红波, 唐新斋, 朱治林. 1999. 遥感及其地球表面时空多变要素的区域尺度转换. *国土资源遥感*, **3**: 51—59

Comparison and analysis of two general scaling methods for remotely sensed information

WU Hua^{1,2}, JIANG Xiao-guang³, XI Xiao-huan³, LI Chuan-rong³, LI Zhao-liang¹

1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Academy of Opto-Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

Abstract: With the development of quantitative remote sensing, the scaling problems attract more and more attention. The discrepancy between observation scale, model scale and land surface process scale may lead to different conclusions. Now, how to effectively scale remotely sensed information at different scales already becomes one of the most important research focuses of remote sensing. The aim of our research is to compare and analyze two general scaling methods, the Taylor Series Expansion Model (TSM) and the Computational Geometry Model (CGM), and apply them to the scaling of leaf area index (LAI). Firstly, the necessity and importance of scaling are analyzed. Secondly, based on the research of description for the same object using different scale data, the mechanism of scaling effects is presented. Then, the two general models, TSM and CGM, are briefly introduced and their advantages and disadvantages are discussed in detail. Finally, through the retrieval of leaf area index, the two models are comprehensively compared and analyzed in three distinct landscapes. The result shows that the relative scaling error increases with the heterogeneity of land surface. The relative scaling error is 2% in the relatively homogeneous woodland; however, it arises up to 7% in crop-water mixed areas. Apparently, the TSM can better characterize the scale effect and obtain more accurate surface parameters when both small scale (high resolution) data and large scale (low resolution) data are available. The relative scaling error can be reduced to less than 1% for all these test landscapes when TSM is used in scaling. In contrast, CGM can not produce rational result and the relative error is still large. It may be due to using inappropriate weights or data ranges in the model. More study about CGM is needed. On the whole, it is necessary to select the suitable scaling model according to the practical applications. The scaling makes the remote sensing products at different scales comparable and the surface parameter retrieval results more accurate. Scaling technique will provide a powerful technical support for applications in resources survey, environment and disaster monitoring, and other relevant fields.

Key words: remote sensing, scale effect, scaling, NDVI