

克里格法的土壤水分遥感尺度转换

王璐^{1,2,3}, 胡月明¹, 赵英时², 刘振华^{1*}

(1. 华南农业大学信息学院, 广州 510642; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510642)

摘要: 尺度效应往往会制约着定量遥感反演的精度, 对地学信息进行空间尺度转换是生产实践的必然要求, 而常用的尺度转换模型多利用光谱数据进行差值计算, 不适合升尺度和降尺度转换。由于土壤含水量数据具有区域变化量的随机性和结构性特点, 本文以 15m 分辨率的 ASTER 图像像元为基本单元, 采用点克里格法完成 ASTER 15m 至 7.5m 分辨率的土壤含水量数据降尺度转换, 从分维数的相似程度上来看, 转换结果是合理的; 并利用块状克里格法对地面实测样点数据进行点到 7.5m 分辨率的面数据升尺度转换, 将升尺度和降尺度转换结果与实测样点均值相比较, 结果表明: 7.5m 分辨率的实测样点土壤水均值误差在 1.5782-5.019 之间, 块状克里格法获取的升尺度土壤含水量数据与点克里格法获取的降尺度土壤含水量数据之间误差则为 1.2825-5.0481, 可见克里格法考虑了点与周边的关系, 所获得的土壤含水量值要优于未考虑空间异质性的土壤含水量平均值。

关键词: 尺度转换; 土壤水分; 克里格法

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2012.00465

1 引言

土壤水是生态环境中水分存在的主要形式和水循环的重要环节之一。遥感方法是获取非均匀下垫面、非均匀介质参数最经济、有效的方法, 是复杂条件下解决大尺度区域范围土壤水分状况及其在生态环境中转换机理研究的有力武器^[1], 它在一定程度上弥补了常规观测数据的不足, 但也存在着不同尺度的数据转换问题, 这种尺度问题产生的根源在于地理现象的异质性、系统的等级性与层次性, 以及主观认识的局限性等。

遥感尺度包括空间分辨率、时间分辨率及光谱分辨率, 而造成遥感问题复杂化的重要原因之一就是地面测量数据、不同遥感测量方式获取的数据和应用需要的数据在尺度上的不一致^[2]。如何实现不同尺度数据的相互转换是尺度研究的核心问题之一, 在遥感尺度转换研究中, 需要解决的问题主

要是: (1) 如何有效地将遥感数据进行不同尺度的转换^[3]; (2) 原始数据经过尺度转换后, 出现何种信息的损失或效应^[4]; (3) 如何评价尺度转换的效果^[5]。尺度转换的方法按照其转换基础划分为像元的尺度转换^[6-8]和对象的尺度转换^[9-12]。

目前, 常用的基本尺度转换模型有: 最邻近插值法、双线性插值法和立方卷积法。这些模型仅利用光谱数据进行插值计算, 没有考虑地物空间结构信息。Hay 等研究发现^[13]: 最邻近插值法, 双线性插值法, 以及立方卷积法都不适合尺度的向上转换; 而克里格法可以最大限度地利用空间取样所获取的各种信息, 在估计未知样点数值时, 除了考虑到落在该样点和邻近样点的数据外, 还考虑了各邻近样点彼此之间的位置关系。利用克里格法对遥感图像尺度的研究^[14], 主要集中在尺度效应升尺度研究方面^[15]。

鉴于此, 本文从系统的角度出发, 以像元为基

收稿日期: 2012-06-14; 修回日期: 2012-07-10。

基金项目: 国家自然科学基金项目“土壤空间预测方法及其不确定性研究”(40971125); 国家自然科学基金项目“中小城镇地价变化与城市空间增长的层次化多智能体动态模拟研究”(41001310); 国家重点基础研究发展规划项目(“973”项目)“陆表生态环境要素主被动遥感协同反演理论与方法”(2007CB714407)。

作者简介: 王璐(1976-), 女, 在读博士, 讲师, 主要从事遥感与地理信息系统应用研究。E-mail: selinapple@163.com

* 通讯作者: 刘振华(1972-), 女, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事遥感应用方面的研究。

E-mail: grassmountain@163.com

本单元,采用点克里格法进行降尺度转换,根据规则网格进行数据采样,并对采样点的区域化变量进行线性无偏最优评估,完成 ASTER 15m 至 7.5m 分辨率的土壤水数据转换,利用分维数验证尺度下推的可行性;并通过块状克里格法进行升尺度转换,完成点地面测量数据和面遥感数据转换,从而提高验证精度。本研究以黑河盈科绿洲玉米地为实验区,对该区 ASTER 数据反演的土壤水进行尺度转换,结果表明此方法是可行的。

2 数据与方法

2.1 研究区与数据源

研究区位于河西走廊中部黑河中游的盈科绿洲的玉米地(图 1),海拔 1419~1600m,灌区地势东南高西北低,属大陆性寒温带干旱气候,冬夏较长,春秋较短,春季多风少雨,冬季较为寒冷,多年平均气温 6.5~7.0℃,多年平均降水量约 125mm,年蒸发强度 1291mm,区内土壤类型为荒漠土,土层深厚,贮水性能好,日持水量为 22%,有机质含量为 17.98g/kg。

本研究采用 2008 年 6 月 13 日 ASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)数据,该数据在可见光-热红外波段(0.52~11.65μm)共有 14 个波段,其中,星下反射波段有 3 个,空间分辨率为 15m;热红外波段有 5 个,空间分辨率 90m,时间分辨率是 15 天。作者在甘肃黑河盈科研究区进行了与 ASTER 卫星同步的野外实验。在研究区内设置了 7 个监测点,在 2008 年 6 月 4 号 ASTER 卫星过境时,利用时域反射仪(TDR)同步测量地表土壤的含水量。为了便于计算样点之间的距离,对原坐标进行以 m 为单位的坐标转换,如表 1 所示。

表 1 样点地理坐标转换表及实测土壤含水量

Tab. 1 Geographic coordinate transformation and soil moisture

样点	E(DEM)	E(m)	N(DEM)	N(m)	土壤含水量(%)
1	100.34826	4291387.790	38.76530	617138.255	21.75
2	100.34832	4291405.622	38.76546	617143.206	18.10
3	100.34757	4291419.089	38.76559	617077.830	16.825
4	100.34733	4291430.988	38.76570	617056.798	18.40
5	100.34772	4291504.728	38.76636	617089.604	32.50
6	100.2050	4291392.915	38.4555	617066.280	18.5
7	100.2051	4291438.268	38.4556	617087.749	20.0

本文尺度转换所用遥感土壤含水量数据采用土壤热惯量来反演。热惯量模型^[16]是从地表辐射能量平衡热传导理论出发,在土壤—植被—大气系统中,根据双层模型中的土壤热能量平衡条件,通过组分温度分解求取地表土壤温度和与之相应的土壤潜热、土壤显热,经遥感热惯量模型反演地表土壤水如图 1 所示。

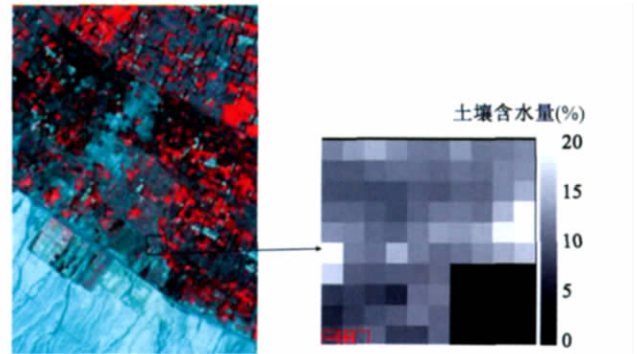


图 1(a): ASTER 3,2,1 影像;(b):(a)图黑框内盈科花寨子绿洲玉米地反演的土壤水分

Fig. 1 (a): ASTER 3,2,1; (b): Soil moisture in the Yingke Oasis experimental site Corresponding black box

2.2 尺度转换的方法

2.2.1 点克里格插值降尺度转换

(1) 点普通克里格法

克里格法也称空间局部估计,是建立在变异函数理论及结构分析基础上,在有限区域内对区域化变量的取值进行无偏最优估计的一种方法,克里格线性估计量如式(1)所示^[17]:

$$Z_0^\#(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

其中, $Z(x_i)$ 为样点数据, $Z_0^\#$ 为待估计量, λ_i 为各个样点的权重系数。对于任何一种估计,实际值和估计值之间总是存在着偏差,不能要求估计值和实际值相等。 $Z_0^\#$ 实际上为真实值 Z_0 的线性、无偏,以及最优估计量。克里格方程用矩阵表示为:

$$\lambda = K^{-1}D \quad (2)$$

其中,

$$K = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} & 1 \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} & 1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ -\mu \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} c(x_1, x) \\ c(x_2, x) \\ \vdots \\ c(x_n, x) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中, C_{ij} 为第 i 个已知样点和 j 个已知样点的协方差, $C(x_i, x)$ 为待估计样点和已知样点之间的协方差。

(2)降尺度差值计算

本研究采用 ASTER 卫星数据,假设原始 ASTER 图像每个像元值为一个点值(如图 2 所示),则共有 9 个像元,若对红色 5 号像元进行降尺度差值计算,可分解为 4 个点(即:黑色 1、2、3、4 号点)。其中,黑色 1 号点的土壤含水量数据可通过已知红色 1、2、4、5 号点的数据经过点克里格法降尺度转换获取。

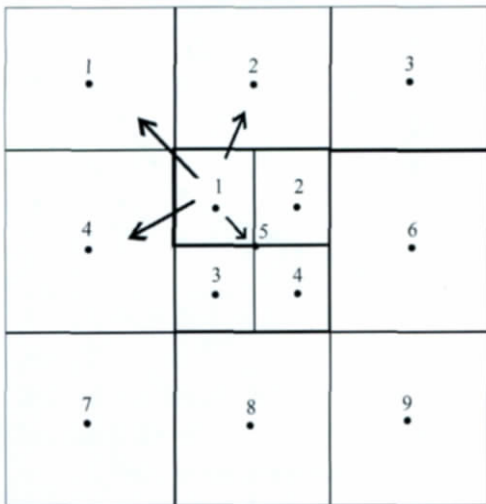


图 2 ASTER 9 个像元点的克里格插值示意图

Fig. 2 Kriging interpolation for nine pixels in ASTER

鉴于本研究为 4 个已知样点(红色 1、2、4、5),则权重系数 λ_i 为:

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ -\mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & 1 \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & 1 \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & 1 \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} C_{01} \\ C_{02} \\ C_{03} \\ C_{04} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中, C_{ij} 为第 i 个已知样点和 j 个已知样点的协方差, C_{0j} 为待估计样点和已知样点之间的协方差。

2.2.2 块状克里格升尺度转换

考虑到地面实测土壤含水量数据为点数据,遥感卫星反演的数据为面数据,用实测点数据来验证遥感面数据,也存尺度转换问题,为了提高遥感反演土壤水的精度,本文利用块状普通克里格法去估计中心块段的平均值,由于数据结构不变,公式(2)中,克里格矩阵不变,只是矩阵 D 变为:

$$D = \begin{bmatrix} \bar{c}(x_1, V) \\ \bar{c}(x_2, V) \\ \vdots \\ \bar{c}(x_n, V) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中, $\bar{C}(x_i, V)$ 为离散化块段中心点的平均协方差函数。每个块段(V)又被离散成 4 个小块段(如图 3),即可通过分散的样点来估计,以估计点(x_0)为中心块段的平均值,实现在尺度上的一致,从而减少以点值来检验像元块值的误差。已知 4 个小块段中心点(x_{01} 、 x_{02} 、 x_{03} 和 x_{04})的空间位置,则已知样点 x_i 与待估块段 V 中 4 个离散化块段中心点的平均协方差函数如式(6)所示:

$$\bar{C}(x_i, V) = \frac{1}{4}(C_{01-i} + C_{02-i} + C_{03-i} + C_{04-i}) \quad (6)$$

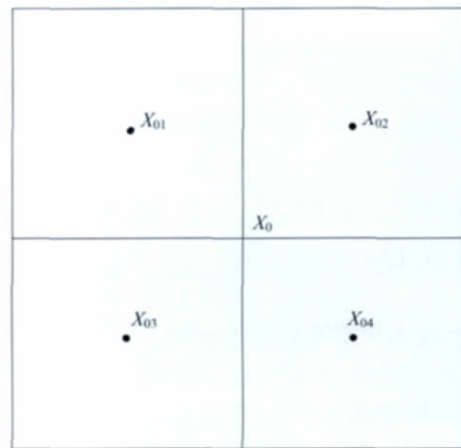


图 3 待估块段的离散化示意图

Fig. 3 Discretization for blocks to be estimated

2.2.3 升降尺度转换系统

为了提高遥感数据的利用效率,本文利用点克里格差值,将遥感影像数据进行降尺度转换,获取更高空间分辨率的影像数据,当转换前后的不同尺度的遥感数据,其分维数相似时,可继续进行降尺度转换,否则停止;同时应用块状克里格法将地面

实测土壤含水量的点数据转换成与遥感像元匹配的面数据,其估计结果充分考虑了空间位置信息,比采样均值更为合理,从而形成了遥感数据升降尺度转换系统,以提高遥感数据尺度转换的精度。具体工作流程如图4所示。

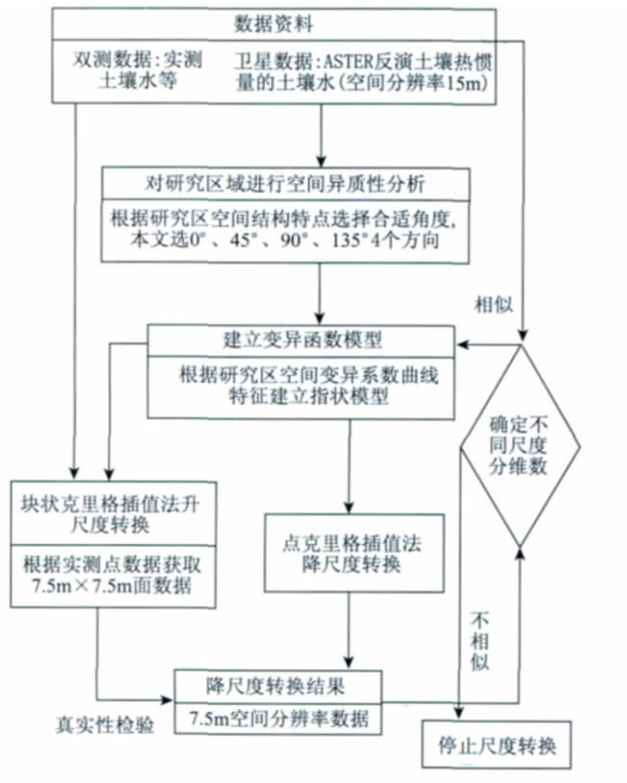


图4 工作流程图
Fig. 4 Working process

3 基于克里格法的土壤水分遥感尺度转换

3.1 土壤水分空间异质性分析

空间异质性是系统或系统属性在空间上的复杂性和变异程度,包括空间组成、空间结构和空间相关。G. Matheron 在 60 年代提出了空间协方差函数 (Covariance Function) 和变异函数 (Variograms),来分析描述区域化变量的随机性和结构性,为严格地分析区域化变量提供了有用的工具。设 $Z(x)$ 为区域化随机变量,并满足二阶平稳假设和本征假设。变异函数 ($\gamma^*(h)$) 的计算公式如下^[18]:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (7)$$

其中, $Z(x_i)$ 、 $Z(x_i+h)$ 分别是区域变量 $Z(x)$

在空间位置为 x_i 和 x_i+h 上的观测值 ($i=1,2,\dots,N(h)$), h 为空间分隔距离。本文对研究区地表土壤含水量进行 4 个方向的异质性分析(如图 5、6)。

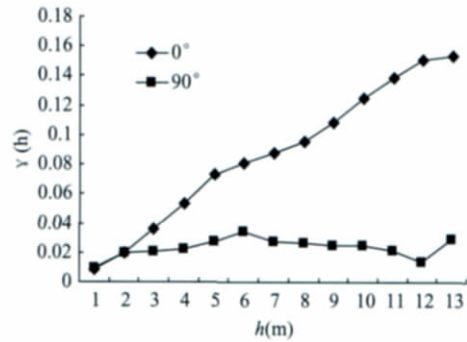


图5 水平(0°)和垂直(90°)方向的空间变异系数
Fig. 5 Variogram in the east-west (blue) and south-north (red) direction

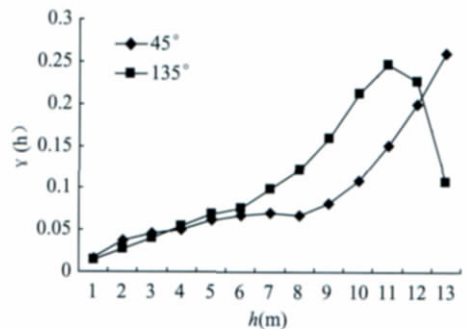


图6 对角方向(45°和135°)的空间变异系数
Fig. 6 Variogram in the SW-NE (blue) and ES-WN (red) direction

实际上理论变异函数模型 $\gamma(h)$ 是未知的,往往要从有效的空间取样数据中去估计,对各种不同的 h 值需要用理论模型去模拟一系列的 $\gamma^*(h)$ 值。地统计学将这些模型大体分为 3 类:基台值模型、无基台值模型和孔穴效应模型。在变异函数选取中,一般选取变异大、变异性小和变异性介于中间的 3 个方向,本研究对 4 个方向 (0° 、 45° 、 90° 、 135°) 土壤含水量的空间异质性进行分析,若对角空间特征变化较大,垂直方向变异性较小,则选用 4 个方向的变异系数均值(如图 7 所示)构建变异函数模型。

根据研究区对角方向均值的空间变异系数曲线特征,对 $\gamma(h)$ 分别进行球形模型、指数模型和高斯模型模拟,模拟曲线(图 8-10)及方程如下。

$$r(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ -0.0071 + 1.4658 \left(\frac{3}{2} \frac{h}{46.9847} - \frac{1}{2} \frac{h^3}{46.9847^3} \right) & 0 < h \leq 35.2473 \\ -0.0071 + 1.4658 & h > 35.2473 \end{cases} \quad (8)$$

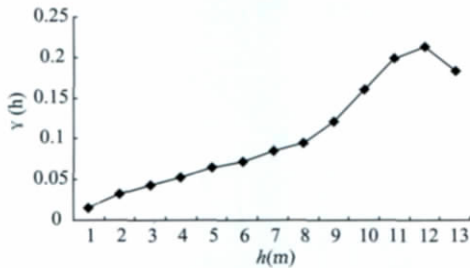


图 7 研究区 4 个方向的空间变异系数均值
Fig. 7 Value of variogram in the four direction

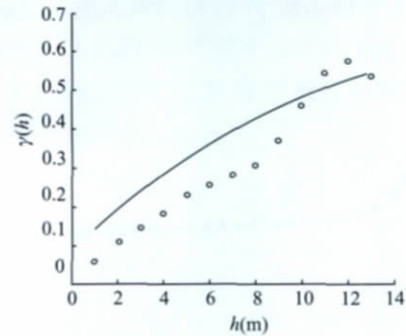


图 10 高斯模拟曲线

Fig. 10 Simulation curve of gauss model

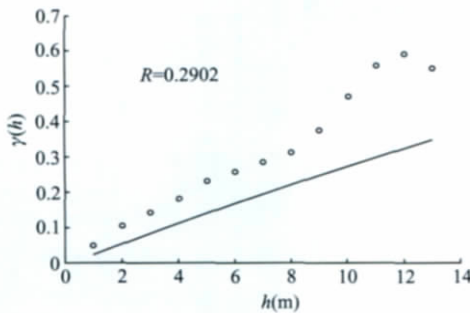


图 8 球形模拟曲线

Fig. 8 Simulation curve of spherical model

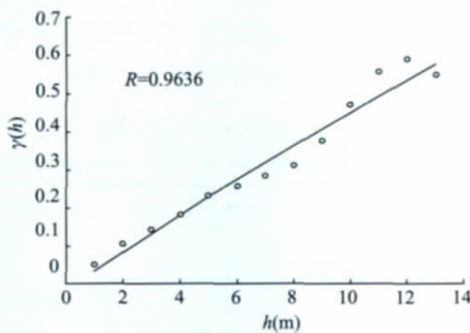


图 9 指数模拟曲线

Fig. 9 Simulation curve of index model

本证假设,其协方差函数 $C(h)$ 和变异函数 $\gamma(h)$ 存在。通过上述拟合,选用决定系数最大的指数模型,其主要参数为: $C_0 = -0.0196, C = 0.7177, a = 36.4453$,协方差模型公式如下:

$$C(h) = \begin{cases} 2.8916 & h = 0 \\ 2.9086e^{-\frac{h}{56.5632}} & h > 0 \end{cases} \quad (11)$$

3.2 基于点克里格插值法的降尺度转换

根据公式(1),采用点克里格插值法对 15m 分辨率的 ASTER 土壤水分数据(见图 11(a))进行降尺度转换,获得 7.5m 分辨率的土壤水分数据(如图 11(b))。

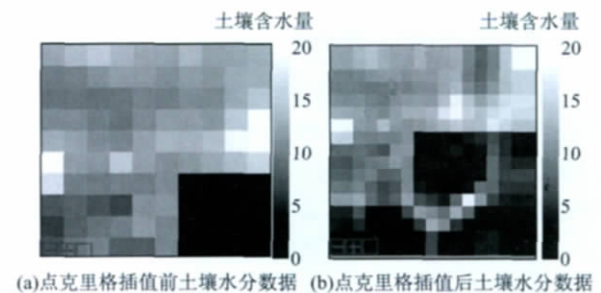


图 11(a):点克里格插值前土壤水分数据;
(b):点克里格插值后土壤水分数据

Fig. 11 (a): Initial soil moisture data before interpolated by point Kriging method;
(b): The soil moisture data after interpolated by point Kriging method

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ -0.0170 + 2.9086 \left(1 - e^{-\frac{h}{56.5632}} \right) & h > 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ 0.0785 + 0.7048 \left(1 - e^{-\frac{h^2}{11.3302^2}} \right) & h > 0 \end{cases} \quad (10)$$

其中, $Z(X)$ 是一个区域变量,满足二阶平稳和

土壤水分空间格局差异依赖于尺度的变化,本研究用分维数 D 对 30m 和 15m 分辨率的土壤水进

行相似性分析。分维数 D 表征变异函数曲线的曲率大小,这里的 D 值是一个随机分维数,不是测量系统中一个属性,因此,与 Krmmel 等^[18]使用的形状维数有本质的不同。分数维用于表征变异函数的特性,由变异函数 $\gamma(h)$ 和间隔距离 h 之间的关系确定,即: $2\gamma(h) = h^{(4-2D)}$ ^[19]。15m 和 30m 土壤水遥感数据的分数维数如图 12、13 所示。

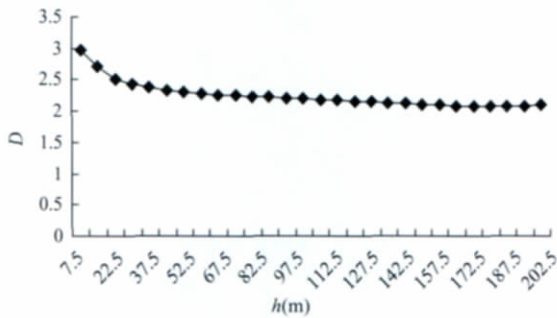


图 12 分辨率为 7.5m 的分数维数

Fig. 12 Fractal dimension with 7.5m resolution

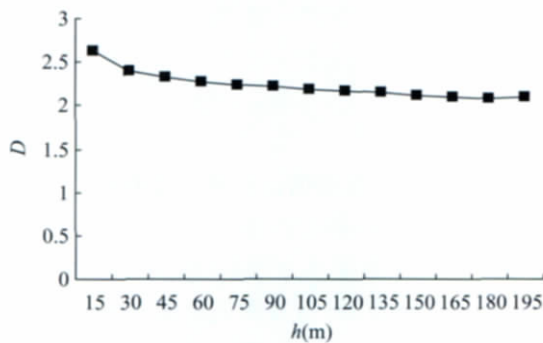


图 13 分辨率为 15m 的分数维数

Fig. 13 Fractal dimension with 15m resolution

从图 13 中可以看出,15m 分辨率的 ASTER 数据反演的土壤含水量值和用克里格插值法获取的 7.5m 分辨率的土壤含水量值,从尺度 15m 到 7.5m 分维数 D 基本上变化不大,说明了两者的土壤含水量值空间格局非常相似。同时,就每个分辨率的遥感土壤水而言,尺度越小,分维数 D 越大,表明由空间自相关部分引起的空间变异性越高,这符合实际情况,即对于高分辨来说,由空间自相关部分引起的空间变异性较高。上述情况表明点克里格法用来降尺度转换遥感数据是可行的。

3.3 实测点数据与遥感面数据升尺度转换

(1) 实验点数据

在花寨子绿洲玉米地布置了 7 个采样点(如图

14 中的蓝色实心点),考虑到 ASTER 下推像元分辨率为 7.5m,对研究区做了分块处理,每个块状(V)对应的分辨率为 7.5m,以其中的 1、2、3、4 块状为例,利用 7 个采样点数据,通过块状克里格法估计这 1、2、3、4 块状的平均值,如图 14 所示。

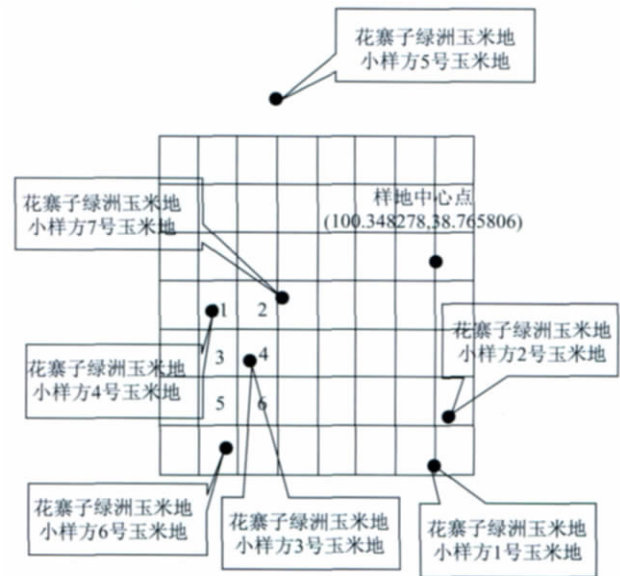


图 14 花寨子绿洲玉米地样点分布图

Fig. 14 Five sample points distribution in the Yingke Oasis corn experimental site

(2) 研究区块状克里格插值

以图 14 中 6 个样块(1、2、3、4)为例,将每个样块划分为 4 个小样块,根据公式(5)计算小样块中心点坐标(表 2)和已知的样点的协方差的平均值。

表 2 4 个离散化块段中心点坐标

Tab. 2 Center coordinates of four disserted points

样块号	节点号	大地坐标 X(m)	大地坐标 Y(m)
1	01	4291431.66	617056.14
	02	4291431.66	617063.64
	03	4291439.16	617063.64
	04	4291439.16	617056.14
2	01	4291431.66	617071.14
	02	4291431.66	617078.64
	03	4291439.16	617078.64
	04	4291439.16	617071.14
3	01	4291416.66	617056.14
	02	4291416.66	617063.64
	03	4291424.16	617063.64
	04	4291424.16	617056.14
4	01	4291416.66	617071.14
	02	4291416.66	617078.64
	03	4291424.16	617078.64
	04	4291424.16	617071.14

鉴于研究区内仅布置 7 个样点,很难进行异质性分析,因此,本文使用上述的指数模型,利用块状克里格法获取此块状单元的土壤含水量。根据公式(1)获得块状单元的克里格线性估计量,如图 15 所示,其 7.5m 分辨率的土壤含水量数据如表 3 所示。

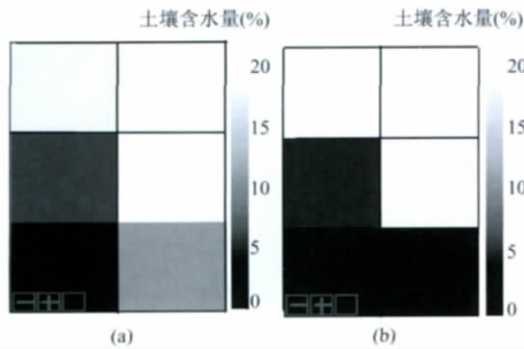


图 15(a) ASTER 数据反演 4 个样块的土壤含水量 (7.5m 分辨率);(b) 块状克里格法获取的 4 个样块土壤含水量 (7.5m 分辨率)

Fig. 15(a) Soil moisture retrieved by remote sensing technique of 4 sample blocks(7.5m);(b) Soil moisture retrieved by Block Kriging method of 4 sample blocks(7.5m)

表 3 ASTER 下推的和克里格法获取的土壤含水量 (7.5m 分辨率)

Tab. 3 Soil moisture retrieved by remote sensing technique and interpolated by Kriging method (7.5m resolution)

样块号	A	B	C	A 与 B 的 误差(%)	A 与 C 的 误差(%)
1	18.6544	19.01358	18.36	1.9254	1.5782
2	19.2148	19.51549	19.861	1.5648	3.363
3	18.3539	17.69876	18.21	3.5694	4.065
4	18.7148	18.95482	19.13	1.2825	2.219
5	18.1975	17.27886	18.85	5.0481	3.586
6	18.4824	17.56852	19.1	4.9445	5.019

A: 下推的 7.5m 空间分辨率土壤含水量值; B: 块状克里格法获取的土壤含水量值; C: 样点土壤含水量均值

为验证遥感面数据和地面点数据一致性,可在样方(图 13 中 1、2、3、4、5、6 号样块)内沿双对角线及中心点,各设 5 个测点,测量 5 个样点数据,计算样地土壤水平平均值。借此来验证实测均值法和考虑区域异质性的插值法准确性,并证实上述 2 种方法卫星反演数据的可靠性(如表 3 所示)。结果表明:7.5m 分辨率的土壤含水量与 5 个小样方测点土壤含水量均值误差在 1.5782-5.019 之间,而块状克里格法获取的土壤水与 ASTER 数据下推的

7.5m 分辨率的土壤含水量之间误差则为 1.2825-5.0481,由于偶然误差原因,五号点实测均值较块状克里格插值土壤水与下推 7.5m 空间分辨率土壤水数据相比误差较大外,其他样块误差均较小,这是由于克里格法考虑了点与周边的关系,获得的土壤含水量,要优于一般未考虑空间异质性的样地土壤含水量平均值。由此可见,运用克里格插值法对地面点数据和遥感面数据进行升降尺度转换,是实现“地面点数据”与“遥感面数据”尺度转换的一种简便易行的好方法。

4 结论与讨论

(1) 对研究区 ASTER 数据反演的地表土壤水分进行 4 个方向的异质性分析,选取变化较大的 4 个方向(0° 、 45° 、 90° 、 135°)的 $\gamma(h)$,进行模型模拟,根据决定系数(R^2),选取指数模型进行点克里格插值,实现分辨率 15m ASTER 遥感数据反演的地表土壤水分到 7.5m 分辨率的转换。通过对 2 种分辨率的遥感土壤水分数据的分维数分析,证明两者地表土壤水分的空间格局非常相似,从而表明降尺度转换的可行性。

(2) 本文通过在研究区实地布置的 7 个采样点,利用块状克里格法对地面点数据进行升尺度转换,获取分辨率为 7.5m 的样块,实现了“地面点数据”和卫星遥感数据在同一尺度下的比较;与下推 7.5m 空间分辨率土壤水分数据相比,实测点均值较块状克里格差值法获取的土壤水分误差大,证明了用块状克里格来验证遥感面状数据更为合理。与传统方法相比,本研究通过构建遥感数据升降尺度转换系统,实现了以点克里格的降尺度转换和块状克里格的升尺度转换,并利用分维数验证下推的合理性,从而使克里格的下插与上插的降尺度与升尺度转换成为整体,相比以往单纯的上插方法而言^[15],提高了地面点测量数据和面遥感数据转换的精度,同时也为今后的尺度转换的思路创新奠定了一定的理论和实践基础。

(3) 由于研究区内样点太少,在进行升尺度转换时直接采用了 15m 至 7.5m 分辨率的土壤水降尺度转换模型。为了保证升尺度转换精度,即在地面点数据到面数据转换过程中,可在研究区内不同类型的样块内,布置多个样点,通过获取各样点变异函数模型完成升尺度转换,从而提高尺度转换的精度,这将在

今后的研究中进一步完善。总之,本研究从理论分析和实际验证上均证明了此方法进行升降尺度转换是合理可行的。

(4)在今后的实验中将引入不同空间分辨率的遥感数据进行尺度转换,从而减少因像元内空间异质性过大引起的误差,提高转换精度,真正实现点面地学信息的统一。

参考文献:

- [1] 杨胜天,刘昌明. 黄河流域土壤水分遥感计算及水循环过程分析[J]. 中国科学 E 辑:技术科学,2004,34(增刊 D):1-12.
- [2] 彭晓鹏,邓孺孺,刘小平. 遥感尺度转换研究进展[J]. 地理与地理信息科学,2004,20(5):6-10.
- [3] Marceau D J. The scale issue in social and natural sciences[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 1999, 25(4):347-356.
- [4] 刘明亮,唐先明,刘纪远,等. 基于 1km 格网的空间数据尺度效应研究[J]. 遥感学报,2001,5(3):183-190.
- [5] Blöschl G, Sivapalan M. Scale issues in hydrological modelling: a review[J]. Hydrological Processes, 1995, 9(3-4):251-290.
- [6] Lam N S N, Quattrochi D A. On the Issues of Scale, Resolution, and Fractal Analysis in the Mapping Sciences[J]. The Professional Geographer, 1992,44(1): 88-98.
- [7] Goodchild M F, Quattrochi D A. Scale, multiscale, remote sensing, and GIS[C]. Boca Rotan: Lewis Publishers, 1997.
- [8] 吴骅,姜小光,习晓环,等. 两种普适性尺度转换方法比较与分析研究[J]. 遥感学报, 2009,13(2):183-189.
- [9] Burnett C, Blaschke T. A multi-scale segmentation/object relationship modelling methodology for landscape analysis[J]. Ecological Modelling, 2003, 168(3): 233-249.
- [10] Li C T, Chiao R. Unsupervised texture segmentation using multiresolution hybrid genetic algorithm [C]. Proceedings of 2003 International Conference on Image Processing,2003.
- [11] Fernandes R A, Miller J R, Chen J M, *et al.* Evaluating image-based estimates of leaf area index in boreal conifer stands over a range of scales using high-resolution CASI imagery[J]. Remote Sensing of Environment,2004,89(2):200-216.
- [12] 王晖,肖斌,马建峰. 基于 Radon 和解析 Fourier-Mellin 变换的尺度与旋转不变目标识别算法[J]. 中国图象图形学报,2008,13(11): 2157-2162.
- [13] Hay G J, Niernann K O, Goodenough D G. Spatial thresholds, image-objects, and upscaling: a multiscale evaluation[J]. Remote Sensing of Environment,1997, 62(1):1-19.
- [14] 胡国彪,傅扬镛,胡小保. 基于变异函数套合的遥感图像尺度效应研究[J]. 科技风,2011(4):34-35.
- [15] 冉有华,李新. 基于块克里金的土壤水分点观测向像元尺度的尺度上推研究[J]. 冰川冻土,2009,31(2): 275-283.
- [16] Liu Z, Zhao Y. Research on the method for retrieving soil moisture using thermal inertia model[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2006,49(5):539-545.
- [17] Journel A G, Huijbregts C J. Mining geostatistics [M]. Waltham, MA, USA: Academic Press, 1978.
- [18] Matheron G. Principles of geostatistics[J]. Economic Geology, 1963,58(8):1246-1266.
- [19] Krummel J R, Gardner R H, Sugihara G, *et al.* Landscape patterns in a disturbed environment[J]. Oikos, 1987,48(3):321-324.

Remote Sensing Scale Transformation of Soil Moisture Based on Block Kriging

WANG Lu^{1,2,3}, HU Yueming¹, ZHAO Yingshi² and LIU Zhenhua¹

(1. College of Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The reasonable remote sensing scale transformation method is very important for RS data utilization. In order to find a suitable scaling model for ascending scale and downscaling transformation with

spectral data, given the randomness and structural of soil moisture data as regional variation, point Kriging method accounting for spatial heterogeneity is used in this study to transfer from ASTER soil moisture data with 15m resolution to 7.5m resolution. The similarity degree of fractal dimension is shown that the transformation result is reasonable. Block Kriging method is engaged in the upscaling transformation for the field measured point soil content to 7.5m spatial resolution. The 7.5m resolution upscaling scale conversion results and average of measured sample point soil moisture with downscaling 7.5 m resolution remote sensing data were compared respectively. The result shows that 7.5m resolution soil moisture mean error of the measured sample points is in the range of 1.5782 to 5.019, the error between 7.5m resolution upscaling scale conversion results and downscaling 7.5 m resolution remote sensing data is from 1.2825 to 5.0481, which indicates that soil moisture value acquired by Kriging is much better than the soil moisture average without considering spatial heterogeneity under the same scale because of Kriging method taking account of the relationship between the points and the surrounding.

Key words: scale transformation; soil moisture; Kriging method