

基于 Kriging 模型的地面气温空间插值研究^①

李静思¹ 潘润秋¹ 范馥麟²

1. 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079

2. 斯特拉斯克莱德大学电子与电力工程学院, 格拉斯哥 G1 1XW

摘要: 基于中国气象局提供的全国 192 个气象观测站的日均地面气温 (SAT) 数据, 利用 kriging 模型对研究区域内任意位置 SAT 进行插值评估。为了使应用于 kriging 模型的试验数据满足弱平稳性, 首先使用傅里叶级数拟合并去除原数据中的年趋势; 并根据各位置的地理坐标, 包括海拔高度和经纬度, 拟合出研究区域的空间趋势。反距离加权 (IDW) 插值法作为比较对象也被应用于试验中。采用交叉验证的方式, 将 192 个观测站依次作为目标点进行插值并与该站的实际数据比较, 计算各站插值评估的平均绝对误差 (MAE) 与均方根误差 (RMSE), 从而比较两种方法的精确度。结果表明 kriging 模型在 174 个观测站得到的插值结果优于 IDW 插值法。并且, 在 kriging 过程中, 去除时间趋势和空间趋势对准确获取研究区域内 SAT 的空间相关性起到了重要作用。

关键词: 地面气温; Kriging 模型; 反距离加权插值法; 傅里叶级数; 去除时间趋势; 去除空间趋势

中图分类号: P413

文献标识码: A

文章编号:

引言

气温等气象数据经常应用于气象学, 生态学及土地科学等领域的数学研究模型中^[1-3]。但因为气象观测站的安装费用或实地安装操作可行性等因素, 研究区域内气象观测站的数量通常是有限的。因此, 非观测地区的气象数据通常基于气象观测站的观测数据, 通过空间插值方法等数学统计模型进行评估。

Cao^[4]选取了全国 327 个气象观测站, 比较了反距离加权 (IDW), 样条 (spline), kriging-指数 (exponential), kriging-球状 (spherical), 和 kriging-高斯 (Gaussian) 五种模型的气温插值结果; 其中 kriging-指数和 kriging-球状模型拥有较高的精确度。Xu^[5]选择时间作为第三维度, 将空间 kriging 模型拓展为时空 kriging 模型, 从而考虑不同观测站间的时空 (时间和空间) 关系, 即某一观测站周边的观测站的历史数据对该站当前值的影响; 但时空 kriging 模型的运算时间较长。

应用于 kriging 等统计模型中的数据通常需要满足弱平稳性或二阶平稳性^[6]。Bodri^[7]在 SAT 预测的项目中, 使用了四项傅里叶级数模拟了捷克共和国布拉格市的三年日均 SAT 的年趋势, 并使用不含年趋势的残差建立预测模型。Yang^[8]基于傅里叶级数对气温的年变化和日变化进行了分析; 结果表明五项和十一项傅里叶级数分别可以贴切地拟合出气温的年变化和日变化。除时间趋势外, 在整个研究区域范围内, SAT 关于观测站的海拔高度和经纬度的趋势面也将被线性拟合^[9]。去除趋势面或空间趋势可以使插值模型的建立不受地理环境变量的影响。本文将采用傅里叶级数拟合和线性拟合分别去除 SAT 数据中的时间趋势和空间趋势, 从而得到满足弱平稳性的残差数据来确定 kriging 模型的参数, 并将对 kriging 模型和 IDW 方法的插值评估的精确度进行比较。

1 资料与方法

1.1 资料来源

本研究选用自 2011 年 1 月至 2013 年 12 月三年内, 全国 192 个气象观测站 (如图 1) 的地面气温 (SAT) 日均值; 观测站在我国东部分布密集, 而在西部分布较稀少。SAT 观测数据源自于“中国地面国际交换站气候资料日值数据集”, 由“中国气象科学数据共享服务网”^[10]提供。我国幅员辽阔, 地形地貌复杂, 各地气温差异较大, 如观测站 50434 (内蒙古) SAT 三年平均值为 -4.3°C, 而观测站 59838 (海南) SAT 三年平均值则高达 25.3°C; 且各地温度波动幅度各不相同。因此在空间插值模型建立的过程中, 对 SAT 数据的时间趋势和空间趋势的拟合分析是必要的。

^① 作者简介: 李静思 (1991-) 女, 宁夏银川人, 硕士, 主要从事土地资源利用与可持续发展研究。
基金项目: 青年科学基金项目 (41401446)

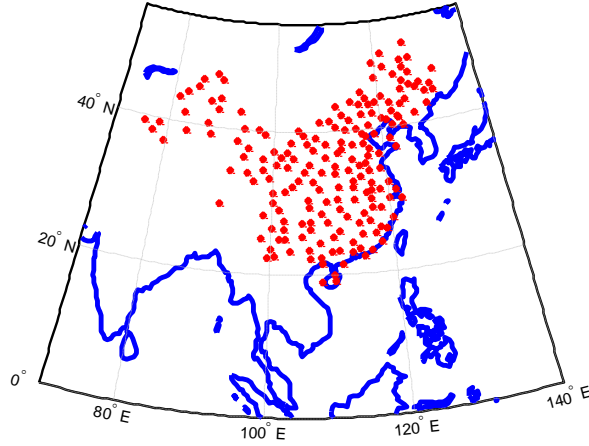


图1 全国 192 个气象观测站分布图

1. 2 方法

本节将提出傅里叶级数拟合方法和线性拟合方法，分别用于拟合 SAT 数据中的时间趋势和空间趋势；此外，本节将介绍并比较反距离加权（IDW）插值法和 kriging 模型。

1. 2. 1 去除时间趋势

应用于 kriging 等统计模型中的数据通常需要满足弱平稳性，又称二阶平稳性。满足二阶平稳性的数据的平均值和方差均不随时间而变化，而且数据的自协方差只与时间间隔有关^[11]。非平稳数据中含有的趋势将会误导对变量之间相关性以及一段时间序列的自相关性的分析。因此，在应用 kriging 模型之前，非平稳数据中含有的趋势应该被去除。

我们将用 p 项傅里叶级数^[7]拟合出各气象观测站 SAT 的年趋势：

$$Trend = F_0 + \sum_{i=1}^p F_i \sin(i\omega t + \varphi_i) \quad (1)$$

其中 F_i 和 φ_i 是第 i 次谐波的系数， F_0 是数据的补偿， ω 代表频率^[7]。本文中 p 取 6， ω 取 $2\pi/365$ 。

1. 2. 2 去除空间趋势

在气温插值的研究中，海拔高度通常被视为影响气温的重要因素之一^[4,12-13]。对流层中气温随着海拔高度的升高而降低的速率，称为气温直减率（lapse rate of temperature）^[14]。基于 Cao 的研究^[4]，本文中假设研究区域的气温直接减率均为 $6.0^\circ\text{C}/\text{km}$ ，将位于不同海拔高度的各观测站的 SAT 平均值转换成海平面高度上的平均值；随后采用多元线性公式^[13]拟合出海平面高度上的气温平均值关于纬度和经度的趋势面。拟合出的趋势面在应用 IDW 插值法和 kriging 模型前从原数据中去除，从而保证插值模型的建立不受地理环境因素的影响。目标点所对应的趋势面的数值将添加到残差的插值结果，作为该目标点最终的评估值。

1. 2. 3 反距离加权插值法和 kriging 模型

反距离加权（IDW）插值法和 kriging 模型均将目标点周边的样本点观测值的加权平均值作为该目标点的评估值^[15]：

$$y(u_o) - m(u_o) = \sum_{i=1}^{n(u)} \lambda_i [y(u_i) - m(u_i)] \quad (2)$$

其中 $y(u_o)$ 和 $y(u_i)$ 分别为目标点 u_o 的评估值和样本点 u_i 的观测值； $m(u_o)$ 和 $m(u_i)$ 分别为 $y(u_o)$ 和 $y(u_i)$ 的期望值或趋势， $n(u)$ 是样本点的数目， λ_i 则是样本点 u_i 的权重。

反距离加权插值法中，样本点 u_i 所占的权重 $\lambda_{IDW,i}$ 与其到目标点 u_o 的距离 $d_{i,o}$ 成反比^[16]：

$$\lambda_{IDW,i} = \frac{1/d_{i,o}^q}{\sum_{i=1}^n (1/d_{i,o}^q)} \quad (3)$$

其中 q 为幂次，在本研究中 q 取值 2。

Kriging 模型以估计误差的方差最小为标准来选取参数 $\lambda_{KRI,i}$ 。Kriging 模型的参数不仅受样本点与目标点的距离影响，很大程度上还受各点之间的空间相关性影响^[17-18]：

$$\lambda_{KRI,i} = K^{-1}k \quad (4)$$

其中 \mathbf{K} 是样本点之间协方差组成的矩阵， \mathbf{k} 则是目标点与样本点之间协方差组成的向量。矩阵 \mathbf{K} 和向量 \mathbf{k} 中的元素由一个关于距离的函数模型求出。由样本点上不含时空趋势的残差计算得到的经验半方差 $\gamma(h)$ ，将用于拟合该函数模型：

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [y(x_i) - y(x_i + h)]^2 \quad (5)$$

其中 $n(h)$ 是距离间隔为 h 的两样本点上观测值 $y(x_i)$ 和 $y(x_i + h)$ 的对数，距离间隔 h 也称为滞后距。在一定滞后距范围内，半方差通常随着滞后距的增长而增大。半方差随滞后距变化的函数通常称为变差函数^[19]。通常使用以下数学理论模型对经验半方差 $\gamma(h)$ 进行拟合^[19]：

$$\text{球状模型} \quad \gamma^*(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ b + c \cdot \left[\frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & 0 < h \leq a \\ b + c & h > a \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{指数模型} \quad \gamma^*(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ b + c \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \right] & h > 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{高斯模型} \quad \gamma^*(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ b + c \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{3h^2}{a^2}\right) \right] & h > 0 \end{cases} \quad (8)$$

其中，参数 b 是“块金值 (Nugget)”，代表空间不相关噪声，可理解为滞后距极小的两点之间仍具有一定的空间变异性。在球状模型中，半方差在“变程 (Range)” a 处达到最大值，称为“基台值 (Sill)”，等于 $(b + c)$ ；滞后距在变程之内的两点具有空间相关性，而滞后距超出变程的两点将互不相关。在指数模型和高斯模型中，半方差随着滞后距增加而逐渐逼近基台值；在变程处，两者的半方差值为 $0.95(b + c)$ 。参数 c 通常称为“拱高 (Partial Sill)”^[19]。

通过观察经验半方差随滞后距的变化，选择合适的理论模型，并运用最小二乘拟合^[20]来确定变差函数模型中的系数。再由拟合出的变差函数和两点间的滞后距，计算出矩阵 \mathbf{K} 和向量 \mathbf{k} 中各协方差元素 $C(h)$ ：

$$C(h) = Sill - \gamma^*(h) \quad (9)$$

大量观测站的存在将会导致数量庞大的经验半方差点，从而增加计算机拟合经验半方差的运算时间；此外，大量的经验半方差点不能完全地体现出其所遵循的数学理论模型^[21]。因此本研究采用 Binning 方法^[21]，将经验半方差点根据对应的滞后距归入到不同的滞后距范围内，分别计算出各滞后距范围内经验半方差和滞后距的平均值。新生成的滞后距和对应的经验半方差将用于变差函数的拟合。

本研究中涉及的数学运算均在 MATLAB^[22]上实现。

2 结果与分析

2.1 时间趋势与空间趋势

本节选取分别位于我国东南（观测站 58477，浙江），东北（观测站 53192，内蒙古），西北（观测站 51156，新疆）和西南区域（观测站 55591，西藏）的四个观测站。基于 6 项傅里叶级数拟合出它们三年的时间趋势。图 2 展示了 2013 年四个观测站的 SAT 年趋势，可以看出，位于不同区域的观测站的 SAT 年趋势差异较大：其中内蒙古和新疆的 SAT 年趋势的起伏较大，而浙江和西藏的 SAT 年趋势的起伏相对较小。

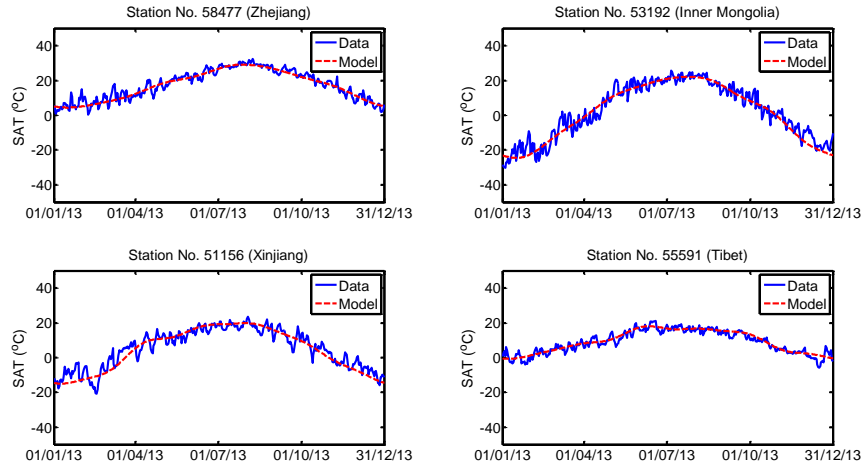


图 2 2013 年四个气象观测站的年趋势拟合

图 3 (a) 展示了转换到海平面高度的各观测站 SAT 平均值 (\overline{SAT}^*) 随纬度的变化, 其中观测站的 \overline{SAT}^* 值与其纬度的相关系数为 -0.85。可以发现纬度较高的观测站的 \overline{SAT}^* 值普遍较低, 其中线性拟合的斜率约为 -0.73。在研究过程中发现, \overline{SAT}^* 值低于纬度趋势面的观测站均靠近我国东部及东南部海岸线。由此推测, \overline{SAT}^* 值可能还受观测站与海岸线距离的影响。而印度洋因喜马拉雅山脉的阻挡, 对我国西南部观测站的 \overline{SAT}^* 值影响较小^[23]。从各观测站的 \overline{SAT}^* 值中去除其相对应的纬度趋势面的值得到新的 \overline{SAT}^{**} 值。各观测站的 \overline{SAT}^{**} 值与其经度的相关系数为 -0.81。因此, 如图 3 (b) 所示, 偏东的观测站的 \overline{SAT}^{**} 值通常较低, 其中线性拟合的斜率为 -0.24。基于以上分析, 各观测站 SAT 值转换到海平面高度后的 \overline{SAT}^* 值通常沿东北方向而逐渐降低。

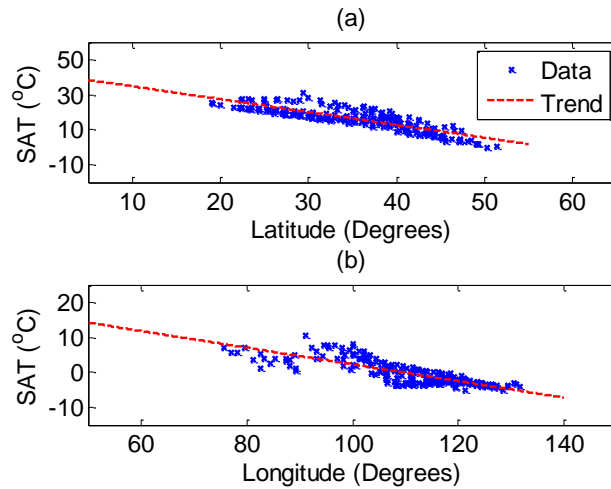


图 3 海平面 \overline{SAT}^* 值关于纬度的趋势面 (a) 和 \overline{SAT}^{**} 值关于经度的趋势面 (b)

值得注意的是, 当使用傅里叶级数时, 数据补偿项 F_0 代表了观测站的 SAT 平均值 (\overline{SAT}), 所以经过去除时间趋势方法后得到的残差平均值为 0; 从某种角度来说, 去除时间趋势方法不仅去除了各观测站上 SAT 数据的时间趋势, 也去除了研究区域内的空间趋势, 所以得到的残差既不含时间趋势, 也不含空间趋势。但是目标点对应的空间趋势的数值, 即 F_0 是未知的, 所以拟合出原数据 \overline{SAT} 值的空间趋势仍是必要的。

2.2 Kriging 模型的建立

基于去除时间趋势和空间趋势后得到的残差数据, 通过公式 (5) 得到经验半方差 (如图 4)。从图 4 可看出, 经验半方差在约 0-1500km 滞后距时呈指数增长; 在约 1500-3000km 滞后距内遵循球状模型; 而在约 3000km 滞后距外空间相关性消失。

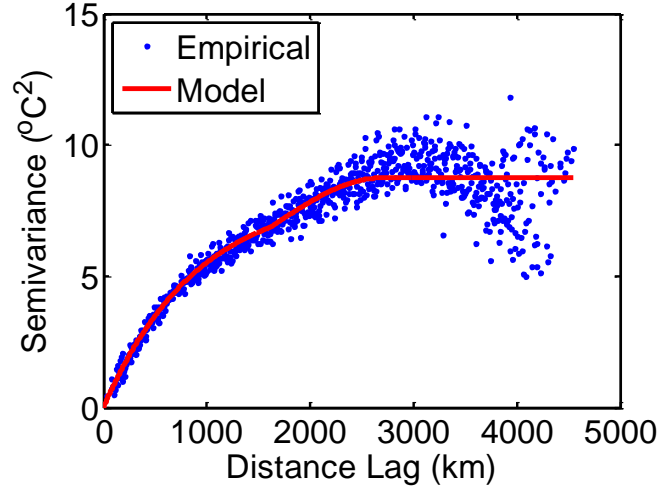


图4 基于残差的经验变差函数和拟合变差函数

基于以上分析，本研究中经验变差函数将由指数模型和球状模型的组合模型进行拟合：

$$\gamma^*(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ b + c_1 \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{3h}{a_1}\right)\right] & 0 < h \leq a_2 \\ b + c_1 \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{3a_2}{a_1}\right)\right] + c_2 \cdot \left[\frac{3(h-a_2)}{2a_3} - \frac{1}{2}\left(\frac{h-a_2}{a_3}\right)^3\right] & a_2 < h \leq a_2 + a_3 \\ b + c_1 \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{3a_2}{a_1}\right)\right] + c_2 & h > a_2 + a_3 \end{cases} \quad (10)$$

用公式（10）对经验变差函数进行拟合，得到的拟合系数分别为：

$$\begin{aligned} b &= 0.01 & c_1 &= 8.27 & c_2 &= 1.86 \\ a_1 &= 2.75 \times 10^3 & a_2 &= 1.63 \times 10^3 & a_3 &= 1.06 \times 10^3 \end{aligned}$$

由拟合系数可知，变差函数模型的块金值为0.01，基台值为8.74，变程为 2.69×10^3 。

2.3 IDW 插值法与 Kriging 模型的插值结果比较

本研究采用交叉验证（cross-validation）^[24]的方式，将各观测站依次作为目标点进行空间插值，并将插值结果与目标点的实际观测值进行比对。通过计算并比较 IDW 插值法和 Kriging 模型的平均绝对误差（MAE）和均方根误差（RMSE）^[24]，从而对两种插值方法的插值表现进行评估和分析：

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |error_i| \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n error_i^2} \quad (12)$$

图5展示了 Kriging 模型相比于 IDW 插值法关于 MAE 和 RMSE 的提升。

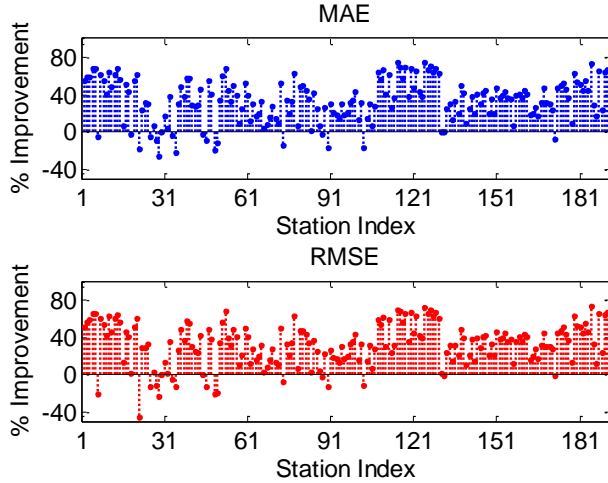


图 5 Kriging 模型相比于 IDW 插值法关于 MAE 和 RMSE 的提升

由图 5 可看出,kriging 模型相比于 IDW 插值法关于 MAE 和 RMSE 的提升百分比相似。在 174 个观测站(占总数的 90.63%)上,kriging 模型的 MAE 值低于 IDW 插值法;在 176 个观测站(占总数的 91.67%)上,kriging 模型的 RMSE 值低于 IDW 插值法。此外,kriging 模型在约 50 个观测站(占总数的 26.04%)上关于 MAE 和 RMSE 的提升比较显著,超过 50%。因此,kriging 模型在大多数目标点上的 SAT 插值结果优于 IDW 插值法。

2.4 结果分析

用数学理论模型合理地描述研究区域内各观测站 SAT 数据之间的空间相关性是 kriging 模型建立过程中的关键步骤,而得到准确的经验半方差函数则是拟合数学理论模型的重要前提。不含时空趋势的 SAT 残差数据代表了各样本点的 SAT 值相对于自身趋势的升高或者降低的波动,相比于原数据具有更高的平稳性。试验结果表明,由仅经过气温直减率处理的 SAT 数据计算得到的经验半方差的最大值的数量级超过 2;而由不含时空趋势的 SAT 残差数据得到的经验半方差的最大值的数量级约为 1,并且能够更直观地反映出经验半方差函数遵循的数学理论模型。此外,本研究结合了指数模型和球状模型各自的特点,更贴切地描述了经验半方差函数在近原点处和中距离滞后距的不同变化。

由 kriging 模型的方法介绍可知,kriging 模型分配给各样本点的权重,不仅受样本点与目标点之间距离的影响,同时还取决于样本点与目标点之间以及样本点与样本点之间的空间相关性。所以,若存在两个空间相关性较高(距离较近)的样本点,则其中一个样本点所分配到的权重通常将会在 kriging 过程中被削弱。在各向同性的区域内,如果由分布过于集中的样本点组成的样本族群(cluster)与一独立的样本点到目标点的距离相近,则 kriging 模型分配给样本族群里的样本点的权重之和接近于独立样本点的权重;而 IDW 插值法则简单地考虑样本点与目标点的距离,分配给样本族群里每个样本点以及独立样本点相同的权重,从而使目标点的评估值过分依赖于样本族群。因此,kriging 模型把样本族群视作一个独立的样本点,从而很好地解决了部分样本点分布过于集中的问题^[25]。

通过观察 IDW 插值法评估结果较好的目标点的位置,可以发现这些目标点周边的样本点分布均匀且没有样本族群的存在,或者周边的样本点稀少,如中国西北地区(新疆)。因此,kriging 模型的优点在对此类目标点进行插值评估时没有得到体现。

3 结论与讨论

本文详细地介绍了 kriging 模型与 IDW 插值法的建立过程,并比较了两种插值方法对地面气温(SAT)评估的精确度。Kriging 模型以估计误差的方差最小为目标来确定各样本点的权重,其过程较 IDW 插值法更加精细复杂。

在建立 kriging 模型过程中,采用去除空间趋势和去除时间趋势的方法,得到了满足一定平稳性的残差。由这些残差计算得到的经验变差函数能更准确地表达出研究区域内 SAT 的空间相关性,也为随后变差函数的拟合起到了良好的铺垫。本研究中所使用的数学理论模型结合了指数模型和球状模型的特点,因此对经验变差函数的拟合更加贴切。

试验结果表明,kriging 模型在超过 90% 目标点的 SAT 空间插值结果优于 IDW 插值法。

这是因为 kriging 模型在确定各样本点权重时, 不仅考虑了其和目标点的距离, 也兼顾了样本点与目标点之间以及样本点与样本点之间的空间相关性, 从而解决了目标点周边的部分样本点过于密集而形成样本族群的问题。当周边样本点分布均匀且不存在样本族群, 或周边样本点稀少时, IDW 插值法的插值结果接近 kriging 模型, 甚至更加精确。因此, 一种空间插值方法不能保证适用于所有案例。对于不同类型的研究数据, 或不同时间段或不同研究区域的同种类数据, 需要尝试多种插值方法并比较其插值精确度, 从而得到适用于某种案例的插值方法^[25]。

参考文献:

- [1] 李银国, 尹克林. 气候与矿质元素对柑桔叶片蒸腾作用的影响 [J]. 西南农业大学学报: 自然科学版, 1995(6): 509-513.
- [2] 孙佳, 李永华, 李庆祥, 等. 重庆气温资料均一性检验和订正的初步分析 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2014(9): 173-179.
- [3] 唐圣钧, 程志刚, 王东海, 等. 基于 DEM 的贵州山区气温和降水推算方法研究 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2015, 37(1): 1-10.
- [4] W. CAO, J. HU, X. Y U. A Study on Temperature Interpolation Methods based on GIS [C]. IEEE 17th International Conference on Geoinformatics, 2009: 1-5.
- [5] A. XU, Y. TANG, H. SHU. Implementing Spatiotemporal Kriging Interpolation based on 3D Model [C]. IEEE 19th International Conference on Geoinformatics, 2011: 1-5.
- [6] D. HILL, D. McMILLAN, K. BELL, et al. Application of Auto-regressive Models to U.K. Wind Speed Data for Power System Impact Studies [J]. IEEE Trans. on Sustainable Energy, 2012, 3(4): 134-141.
- [7] L. BODRI, V. CERMAK. Prediction of Surface Air Temperatures by Neural Network, Example based on Three-year Temperature Monitoring at Sporilov Station [J]. Studia Geophysica et Geodaetica, 2002, 47(1): 173-184.
- [8] Z. YANG. Fourier Analysis-based Air Temperature Movement Analysis and Forecast [J]. IET Signal Processing, 2013, 7(1): 14-24.
- [9] S. VIEIRA, J. CARVALHO, M. CEDDIA, et al. De-trending Non Stationary Data for Geostatistical Applications [J]. Bragantia Campinas, 2010(69): 1-8.
- [10] 中国地面国际交换站气候资料日值数据集(V3.0) [DB/OL]. 中国气象科学数据共享服务网, 2014.
- [11] G. NASON. Stationary and Non-stationary Time Series [J]. Statistics in Volcanology, 2006: 129-142.
- [12] H. CHAI, W. CHENG, C. ZHOU, et al. Analysis and Comparison of Spatial Interpolation Methods for Temperature Data in Xinjiang Uygur Autonomous Region, China [J]. Natural Science, 2011(3): 999-1010.
- [13] K. STAHL, R. MOORE, J. FLOYER, et al. Comparison of Approaches for Spatial Interpolation of Daily Air Temperature in a Large Region with Complex Topography and Highly Variable Station Density [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2006, 139(3-4): 224-236.
- [14] R. BARRY, R. CHORLEY. Atmosphere, Weather and Climate [M]. 7th edn. Routledge, London, 1998.
- [15] G. BOHLING. Kriging [DB/OL]. Data Analysis in Engineering and Natural Science, 2005. Available: <http://people.ku.edu/~gbohling/cpe940/Kriging.pdf>
- [16] 刘静, 蔡国学, 刘洪斌. 西南丘陵地区土壤有机质含量的空间插值法研究 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(3): 107-112.
- [17] 朱求安, 张万昌, 余均辉. 基于 GIS 的空间插值方法研究 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2004, 28(2): 183-188.
- [18] 徐丽华, 谢德体, 魏朝富, 等. 案例推理和克里克插值在土壤养分预测中的比较研究 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2013, 35(9): 1-6.
- [19] G. BOHLING. Introduction to Geostatistics and Variogram Analysis [DB/OL]. Data Analysis in Engineering and Natural Science, 2005.

- Available: <http://people.ku.edu/~gbohling/cpe940/Variograms.pdf>
- [20]黎黎, 刘开华. 《计量经济学》课程中“最小二乘法”的教学方案研究 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2014, 39(6): 144-148.
- [21]A. GRIBOV, K. KRIVORUCHKO, J. HOEF. Modeling the Semi-variogram: New Approach, Methods Comparison and Case Study [J/OL]. Stochastic Modeling II, 2001. Available: <http://faculty.mu.edu.sa/public/uploads/1338413445.6852GIS28.pdf>
- [22]MATLAB Release 2012a, the MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States.
- [23]方精云. 我国气温直减率分布规律的研究 [J]. 科学通报, 1992(9): 817-820.
- [24]凌辉, 武伟, 王润, 等. 小尺度下土壤重金属铬含量的空间插值方法比较研究 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2007, 29(11): 93-99.
- [25]F. FAN, K. BELL, D. HILL, et al. Wind Forecasting Using Kriging and Vector Auto-Regressive Models for Dynamic Line Rating Studies [C]. 2015 IEEE PowerTech Conference, 2015: 1-6.

Spatial Interpolation of Surface Air Temperature by Kriging Models

LI Jing-si¹, PAN Run-qiu¹, FAN Fu-lin²

1. School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2. Department of Electronic and Electrical Engineering, University of Strathclyde, Glasgow G1 1XW, United Kingdom

Abstract This paper aims to describe spatial interpolation methods to estimate surface air temperatures (SATs). The SAT at a particular location where SAT observations are not available is estimated through a kriging interpolation between SAT measurements from 192 meteorological sites at which daily SAT observations have been obtained. A temporal de-trending method based on a Fourier series is used to model and remove the annual trend in original data in order to ensure the stationarity of de-trended data from which kriging parameters are determined. Furthermore, a spatial or surface de-trending in terms of geographic coordinates including altitude, latitude and longitude of each location is adopted in a kriging model. Besides a kriging model, an inverse distance weighting (IDW) interpolation method is tested as a comparison. The accuracies of both spatial interpolation approaches are assessed by calculating and comparing their mean absolute error (MAE) and root mean square error (RMSE) when taking each meteorological site as the target location in a cross-validation procedure. The results show that the kriging model performs better than the IDW method at 174 sites. In addition, the temporal and spatial de-trending methods make the main contribution to the accurate capture of spatial correlations of SATs in the study area in a kriging process.

Key words Surface air temperature; Kriging model; Inverse distance weighting method; Fourier Series; Temporal de-trending; Spatial de-trending