

刘琰琰. 气象要素插值的空间化精度提高方法研究. 气象科学 2017 37( 2) : 278-282.

LIU Yanyan. Analysis of spatial interpolation methods for meteorological elements anomaly. Journal of the Meteorological Sciences, 2017 37( 2) : 278-282. doi: 10.3969/2016jms.0021

# 气象要素插值的空间化精度提高方法研究

刘琰琰

( 成都信息工程大学 大气科学学院/高原大气与环境四川省重点实验室 成都 610225)

**摘要** 为了提高气象要素空间化的精度, 本文提出通过预先对气象数据进行处理, 然后再进行空间化, 以比较直接插值与原始数据处理之后再插值的精度的变化。文中采用数据为全国 743 个常规气象站 40 a (1961—2000 年) 整编气象资料及 2005 年的常规气象资料; 插值方法有反距离加权法( IDW)、克里格法( Kriging) 和样条函数法( Spline); 数据预处理方法采用距平处理。结果发现: 使用 IDW、Kriging 和 spline 对平均温度距平进行插值精度比较, 发现 IDW 方法最优; 温度距平精度的提高比降水和相对湿度要好; 降水距平误差呈现由东向西递增的趋势。由此可见, 对气象要素做距平处理可以有效提高插值精度。

**关键词** 距平插值方法; 气象数据处理; 交叉验证; 插值精度

分类号: S161

doi: 10.3969/2016jms.0021

文献标识码: A

## Analysis of spatial interpolation methods for meteorological elements anomaly

LIU Yanyan

( College of Atmospheric Sciences/ Key Laboratory of Plateau Atmosphere and Environment of Sichuan Province, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract** In order to improve the interpolation accuracy of meteorological elements, the meteorological data were firstly processed, and then the changed data were interpolated. The 40 a meteorological data during 1961–2000 and the observation data of 2005 from 743 conventional stations in China, the interpolation methods including IDW, Kriging and Spline, and the data pretreatment method was processed based on anomaly processed. Results show that IDW is better than Kriging and Spline for average temperature anomaly; the improvement of temperature is better than that of precipitation and relative humidity; precipitation anomaly deviation presents the increasing trend from east to west. Thus, the pretreatment methods of meteorological data can improve interpolation accuracy.

**Key words** Anomaly interpolation method; Meteorological data processing; Cross-validation; Interpolator accuracy

## 引言

在许多重要的国际会议中, 气象要素插值已被作为专门的议程来进行探讨和研究<sup>[1]</sup>。采用何种

方法插值最适用气象要素, 已成了国内外学者一直以来探讨的热点问题。庄立伟等<sup>[2]</sup>对东北地区气象要素进行插值, 认为带高度梯度订正的距离权重反比法( GIDW) 对温度而言, 估计精度较高。马轩

收稿日期( Received): 2015-12-31; 修改稿日期( Revised): 2016-03-22; 网络出版日期( Published on-line): 2016-11-21

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1243.P.20161121.1554.022.html>

基金项目: 四川省科技支撑计划项目( 2015NZ0035)

通信作者( Corresponding author): 刘琰琰( LIU Yanyan), liuyy@cuit.edu.cn

龙等<sup>[3]</sup>认为对年平均温度和年降水量来说,样条函数法的插值精度优于反距离权重法;而对于年积温,反距离权重法的插值精度优于样条函数法。封志明等<sup>[4]</sup>在对 1961—2000 年甘肃省及其周围 85 个气象站点的多年平均温度与降水量进行插值,认为梯度距离反比法(GIDW)明显优于反距离加权法(IDW),并且指出当经纬度和海拔高程的复相关系数大于 0.8 时,GIDW 插值结果优于 IDW,否则相反。黄子洋等<sup>[5]</sup>利用神经网络的多维非线性映射功能,结合气象要素特点,提出一种新的分析插值方法,对散乱样本数据适应能力好、插值精度高。大量研究表明,不同内插方法得到的结果存在较大差异<sup>[6-9]</sup>。目前学术界仍然未对采用何种气象插值方法达成一致意见。

近些年来,有学者提出对原始数据进行一定的处理<sup>[10-12]</sup>,可以有效提高最终插值结果的精度,如封志明等<sup>[4]</sup>采用对降水数据做立方根转化。因此,本文以全国 743 个常规气象站 40 a(1961—2000 年)整编气象资料及 2005 年的常规气象资料作为数据源,首先对原始数据进行距平处理,然后通过交叉验证比较距平插值法和直接插值法的精度差异,以寻找提高气象要素插值精度的有效途径。

## 1 资料与处理

### 1.1 资料来源

数据来源于全国 743 个常规气象站(气象基本站和气象基准站)1961—2000 年及 2005 年的观测值。台站经度、纬度、海拔数据来源于全国气象台站表。

### 1.2 数据处理

对全国 743 个常规气象站 1961—2000 年及 2005 年的观测值(本文使用气象观测值中的平均温度、最高温度、最低温度、平均相对湿度和降水量),经过严格的质量控制和筛选后,得到全国气象站点 1961—2000 年的月平均值(时间尺度大于等于 30 a)和 2005 年的各站各要素的月平均值及其距平值。

## 2 研究方法

### 2.1 反距离加权法

最常用的空间内插方法之一。它认为与未采样点距离最近的若干个点对于未采样点值的贡献最大,其贡献与距离成反比。可用下式表示:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(D_i)^p} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(D_i)^p}} \quad (1)$$

式中  $Z$  是估计值;  $Z_i$  是第  $i$  ( $i=1, \dots, n$ ) 个样本;  $D_i$  是距离;  $p$  是距离的幂,它显著影响内插的结果,它的选择标准是最小平均绝对误差。

### 2.2 克立格法

Kriging 又称空间局部估计或空间局部插值法<sup>[13]</sup>,是建立在变异函数理论结构分析基础之上的。可表示为

$$Z_V^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

其中  $\lambda_i$  为权重系数;  $Z(x_i)$  为样本;  $Z_V^*(x)$  是实际值  $Z_V(x)$  的估计值。由于克立格法是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,因此在数学上可表示为

$$\begin{aligned} E[Z_V^*(x) - Z_V(x)] &= 0 \\ \text{var}[Z_V^*(x) - Z_V(x)] &\rightarrow \min \end{aligned} \quad (3)$$

克立格法有多种类型,如普通克立格(Ordinary Kriging)、泛克立格(Universal Kriging)、协同克立格(Co-Kriging)、对数正态克立格(Logistic Normal Kriging)等,本文以普通克立格为例。

### 2.3 样条函数法

所谓样条函数<sup>[14]</sup>,即三次多项式。样条函数法的实质为采用三次多项式对采样曲线进行分段修匀。每次的分段拟合仅利用少数采样点的观测值,并要求保持各分段的连接外连续,即光滑可导。其拟合过程相当于用灵曲板来绘制分段连续的曲线。样条函数的一般形式为:

$$f(x, y) = \sum_{r+s=0}^{r+s=3} b_{rs} x^r y^s \quad (4)$$

样条函数拟合必须满足观测值与拟合值之差的平方和最小:

$$\sum_{i=1}^n W_i^2 [z(x_i, y_i) - f(x_i, y_i)]^2 = \min \quad (5)$$

式中  $W_i$  为拟合权,与  $(x_i, y_i)$  点处拟合误差的方差成反比;  $z(x_i, y_i)$  为  $(x_i, y_i)$  点处的采样值;  $n$  为总采样数。

### 2.4 验证方法

对于不同空间插值方法的估计值效果的检验,一般采用交叉验证法(Cross-Validation)来验证其插值的效果<sup>[15]</sup>。所谓交叉验证法,就是分别假设每一站点的气象要素值未知,用周围站点的值来估算,然

后根据所有站点实际观测值与估算值的误差大小评判插值方法的优劣。本文采用平均绝对误差( $E_{MA}$ )和均方根误差( $E_{RMS}$ )作为评估插值效果的标准。平均绝对误差反映样本数据估值的总体误差或精度水平,均方根误差反映利用样本数据的估值灵敏度和极值。均方根误差表达式为:

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{a_i} - Z_{e_i})^2}{n}} \quad (6)$$

式中  $y$  为均方根误差;  $Z_{a_i}$  为第  $i$  个站点的实际观测值;  $Z_{e_i}$  为估计值;  $n$  为用于检测的站点数目。

### 3 结果分析

#### 3.1 精度比较

采用 IDW 插值方法对 2005 年全国气象站的平均气温月平均值、平均气温月距平值、相对湿度月平均值、相对湿度距平值、降水月累积值和降水月距平百分率,比较直接插值法与距平插值法的变化情况。直接插值法即直接使用原始气象资料进行插值的方法。距平插值法即对原始气象做距平处理再进行插值的方法。

##### 3.1.1 气象要素精度比较

对平均温度进行距平插值与直接插值法比较  $E_{MA}$  和  $E_{RMS}$ ,由表 1 可以看出平均温度直接插值法

表 1 全国台站采用 IDW 平均温度(单位:℃)插值交叉验证结果

Table 1 Cross-validation of average temperature using IDW interpolation at stations in China

月份	$E_{MA}$			$E_{RMS}$	
	直接插值法	距平插值法	误差降低 /(%)	直接插值法	距平插值法
1	1.61	0.54	66.46	2.34	0.78
2	1.51	0.56	62.91	2.37	0.76
3	1.53	0.42	72.55	2.42	0.59
4	1.57	0.40	74.52	2.45	0.55
5	1.60	0.42	73.75	2.46	0.57
6	1.60	0.37	76.88	2.47	0.53
7	1.56	0.40	74.36	2.38	0.54
8	1.53	0.40	73.86	2.35	0.55
9	1.47	0.42	71.43	2.23	0.57
10	1.43	0.42	70.63	2.17	0.58
11	1.44	0.47	67.36	2.10	0.63
12	1.41	0.49	64.75	2.08	0.67
全年	1.52	0.44	70.79	2.32	0.61

$E_{MA}$  在 1.41~1.61℃,距平插值法  $E_{MA}$  在 0.37~0.56℃,距平插值法  $E_{MA}$  平均降低了 70.79%;  $E_{RMS}$  也有降低,降低幅度较大。由此可见使用距平插值法可以较大提高温度插值精度。

对相对湿度进行距平插值与直接插值法比较  $E_{MA}$  和  $E_{RMS}$ ,由表 2 可以看出相对湿度直接插值法  $E_{MA}$  在 0.37%~0.50%,距平插值法  $E_{MA}$  在 0.21~0.42%,距平插值法  $E_{MA}$  平均降低了 34.19%;  $E_{RMS}$  也有降低,降低幅度较大。由此可见使用距平插值法也可以较大提高相对湿度插值精度。

表 2 全国台站采用 IDW 相对湿度(单位:(%))插值交叉验证结果

Table 2 Cross-validation of relative humidity using IDW interpolation at stations in China

月份	$E_{MA}$			$E_{RMS}$	
	直接插值法	距平插值法	误差降低	直接插值法	距平插值法
1	0.39	0.32	17.95	0.32	0.19
2	0.42	0.36	15.38	0.38	0.19
3	0.44	0.31	33.33	0.44	0.21
4	0.46	0.25	53.85	0.54	0.16
5	0.47	0.32	38.46	0.61	0.23
6	0.50	0.21	74.36	0.63	0.14
7	0.47	0.27	51.28	0.48	0.15
8	0.47	0.37	25.64	0.47	0.21
9	0.45	0.33	30.77	0.43	0.16
10	0.46	0.32	35.90	0.41	0.19
11	0.37	0.30	17.95	0.28	0.20
12	0.48	0.42	15.38	0.37	0.28
全年	0.45	0.32	34.19	0.45	0.19

对降水量月数据进行距平百分率处理,然后进行距平插值与直接插值法比较  $E_{MA}$  和  $E_{RMS}$ ,由表 3 可以看出降水直接插值法  $E_{MA}$  在 3.43~10.76 mm,距平插值法  $E_{MA}$  在 3.06%~8.04%,距平插值法  $E_{MA}$  有所降低;  $E_{RMS}$  也有降低,较温度和相对湿度而言,降水精度提高最小。由此可见使用距平插值法也可以提高降水插值精度。

##### 3.1.2 不同插值方法精度比较

以平均温度为例,采用 IDW、Kriging、Spline 插值方法对全国 743 个台站的平均温度进行交叉验证,直接插值法、距平插值法的绝对误差值如表 4 所示。从表中可以看出,直接插值法的绝对误差平均值在 1.37~2.41℃之间,距平插值法的绝对误差平均值分布在 0.36~0.77℃之间,距平插值法和直接

表 3 全国台站采用 IDW 降水量(单位: 直接法 mm; 距平法( % ))  
插值交叉验证结果

Table 3 Cross-validation of precipitation using IDW interpolation  
at stations in China

月份	$E_{MA}$		$E_{RMS}$	
	直接 插值法	距平 插值法	直接 插值法	距平 插值法
1	3.82	3.68	32.15	17.39
2	3.52	3.39	29.41	16.90
3	4.05	4.02	34.20	22.10
4	6.87	5.81	95.64	39.80
5	7.77	5.78	95.24	56.07
6	6.92	5.26	67.57	34.42
7	10.76	7.95	177.81	105.59
8	10.38	7.66	95.51	88.44
9	10.16	8.04	77.69	77.45
10	6.17	6.10	63.27	47.53
11	6.06	6.04	81.45	48.15
12	3.43	3.06	37.99	16.33
平均	6.66	5.57	73.99	47.51

表 4 直接插值法和距平插值法对平均温度(单位: ℃) 的  
交叉验证结果

Table 4 Cross-validation of average temperature using direct  
interpolation and anomaly interpolation methods

月份	直接插值法			距平插值法		
	IDW	Kriging	Spline	IDW	Kriging	Spline
1	1.61	1.58	2.32	0.54	0.58	0.77
2	1.51	1.46	2.19	0.56	0.55	0.73
3	1.53	1.50	2.33	0.42	0.42	0.61
4	1.57	1.54	2.39	0.40	0.39	0.56
5	1.60	1.54	2.33	0.42	0.45	0.58
6	1.60	1.67	2.41	0.37	0.36	0.56
7	1.56	1.62	2.37	0.40	0.41	0.59
8	1.53	1.57	2.37	0.40	0.39	0.59
9	1.47	1.45	2.27	0.42	0.41	0.60
10	1.43	1.39	2.16	0.42	0.43	0.60
11	1.44	1.38	2.04	0.47	0.46	0.63
12	1.41	1.37	1.37	0.49	0.49	0.70
全年	1.52	1.51	2.21	0.44	0.45	0.63

插值法相比 精度有较大的提高 其中使用直接插值法 IDW 和 Kriging 的误差相差很小 ,Spline 误差最大 而距平插值法中 3 种插值方法相差不大。距平插值法误差最小为 IDW 插值。

3.2 降水的误差季节性变化

由于降水的季节性、地域性差异较大 故本文选择降水进行分析。由降水距平百分率误差的 IDW 插值图(图 1) 可以看出,春夏秋冬 4 个季节都能看出误差由东部向西部递增。春季误差较大地区主要集中在: 新疆、西藏、辽宁、吉林、黑龙江等省份; 夏季误差较大地区主要集中在新疆、甘肃、黑龙江、四川、

云南、贵州、江苏、安徽等省份; 秋季误差较大地区主要集中在新疆、西藏、甘肃、陕西等省份; 冬季差异性较不明显。通过计算 4 个季节的栅格图的均值, 结果发现冬季和春季较大, 秋季最小, 秋季均值为 28.84%。由此可见降水误差, 西北、西南及中部部分地区是降水误差较大地区, 主要原因是这些地区气象站较少及当地的复杂地形条件所共同决定的。比较 Kriging 与 Spline 距平百分率插值的误差空间分布图, 分布规律基本与 IDW 一致, 呈现西高东低的趋势。

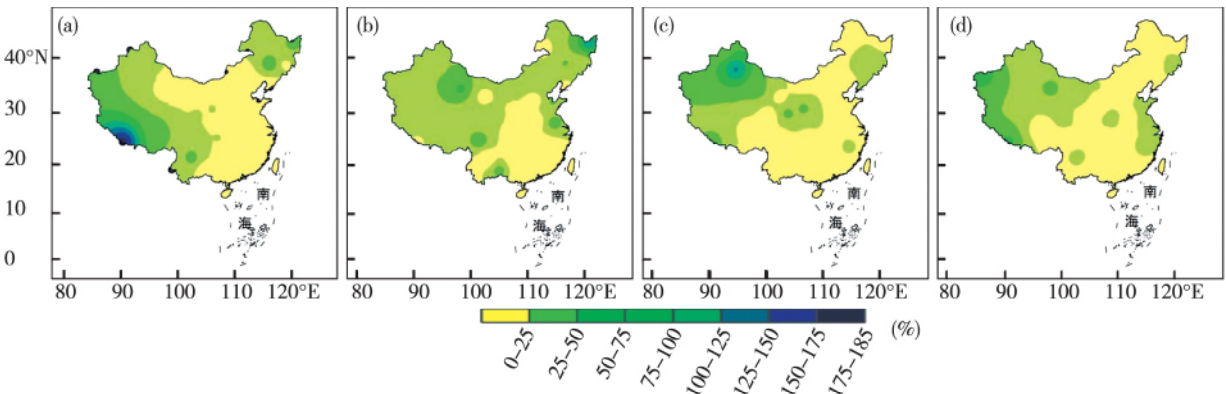


图 1 降水距平百分率误差的 IDW 插值分布( a 春季; b 夏季; c 秋季; d 冬季)  
Fig.1 IDW interpolation distribution of precipitation anomaly percentage error ( a ) spring; ( b ) summer; ( c ) autumn; ( d ) winter

## 4 结论

本文以反距离加权法、克立格法、样条函数法为例,通过交叉验证比较直接插值法与距平插值法的精度差异,主要得出以下几点结论:

(1) 平均温度距平插值 IDW 方法优于 Kriging 和 Spline 插值;

(2) 温度距平精度的提高比降水和相对湿度要好,降水提高得最小;

(3) 降水距平百分率误差呈现由西北向东南递减的趋势

由此可见,对气象要素做距平等处理可以有效提高插值精度。此外在研究过程中发现对于误差的提高存在不稳定性,即误差提高存在波动性。在下一阶段的研究中计划进一步分析这一波动性存在的原因及今后的研究中计划加入多种预处理方法,比较多种预处理方法对插值空间化精度的提高。

## 参 考 文 献

- [1] Houghton J T, Meiro Filho L G, Callander B A, et al. Climate change 1995: The science of climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [2] 庄立伟,王石立. 东北地区逐日气象要素的空间插值方法应用研究. 应用气象学报, 2003, 14(5): 605-615.  
ZHUANG Liwei, WANG Shili. Spatial interpolation methods of daily weather data in Northeast China. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 2003, 14(5): 605-615.
- [3] 马轩龙,李春娥,陈全功. 基于 GIS 的气象要素空间插值方法研究. 草业科学, 2008, 25(11): 13-19.  
MA Xuanlong, LI Chun'e, CHEN Quangong. Study on the method of GIS based spatial interpolation of climate factors in China. Pratacultural Science (in Chinese), 2008, 25(11): 13-19.
- [4] 封志明,杨艳昭,丁晓强,等. 气象要素空间插值方法优化. 地理研究, 2004, 23(3): 357-364.  
FENG Zhiming, YANG Yanzhao, DING Xiaoqiang, et al. Optimization of the spatial interpolation methods for climate resources. Geographical Research (in Chinese), 2004, 23(4): 357-364.
- [5] 黄子洋,李毅,高太长. 一种基于神经网络的气象要素插值方法与分析. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2008, 9(4): 404-408.  
HUANG Ziyang, LI Yi, GAO Taichang. Method and analysis of meteorological record interpolation based on neural network. Journal of PLA University of Science and Technology (Natural Science) (in Chinese), 2008, 9(4): 404-408.
- [6] Jarvis C H, Stuart N. A comparison among strategies for interpolating maximum and minimum daily air temperatures. Part II: The interaction between number of guiding variables and the type of interpolation method. J. Appl. Meteorol., 2001, 40(6): 1075-1084.
- [7] Price D T, McKenney D W, Nalder I A, et al. A comparison of two statistical methods for spatial interpolation of Canadian monthly mean climate data. Agric. Forest Meteorol., 2000, 101(2/3): 81-94.
- [8] Robeson S M, Janis M J. Comparison of temporal and unresolved spatial variability in multiyear time-averages of air temperature. Climate Res., 1998, 10(1): 15-26.
- [9] 潘永地,徐为根,姚益平,等. 沿海丘陵地区雨量估算插值方法试验比较. 气象科学, 2005, 25(2): 124-132.  
PAN Yongdi, XU Weigen, YAO Yiping, et al. The experimentation of comparing the methods of interpolation for estimating area rainfall of in the eastern coastal hill regions. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 2005, 25(2): 124-132.
- [10] 徐超,吴大千,张治国. 山东省多年气象要素空间插值方法比较研究. 山东大学学报(理学版), 2008, 43(3): 1-5.  
XU Chao, WU Daqian, ZHANG Zhiguo. Comparative study of spatial interpolation methods on weather data in Shandong province. Journal of Shandong University (Natural Science) (in Chinese), 2008, 43(3): 1-5.
- [11] 徐振亚,任福民,杨修群,等. 日最高温度统计降尺度方法的比较研究. 气象科学, 2012, 32(4): 395-402.  
XU Zhenya, REN Fumin, YANG Xiuqun, et al. A comparison study on statistical downscaling methods in daily maximum temperatures. Journal of the Meteorological Sciences (in Chinese), 2012, 32(4): 395-402.
- [12] 赵煜飞,朱江,许艳. 近 50 a 中国降水格点数据集的建立及质量评估. 气象科学, 2014, 34(4): 414-420.  
ZHAO Yufei, ZHU Jiang, XU Yan. Establishment and assessment of the grid precipitation datasets in China for recent 50 years. Journal of the Meteorological Sciences (in Chinese), 2014, 34(4): 414-420.
- [13] 徐建华. 现代地理学中的数学方法. 北京: 高等教育出版社, 2004: 115-121.  
XU Jianhua. Mathematical methods in contemporary geography. Beijing: Higher Education Press (in Chinese), 2004: 115-121.
- [14] 吴立新,史文中. 地理信息系统原理与算法. 北京: 科学出版社, 2003: 186-192.  
WU Lixin, SHI Wenzhong. Geographic information systems principles and algorithms. Beijing: Science Press (in Chinese), 2003: 186-192.
- [15] 李海滨,林忠辉,刘苏峡. Kriging 方法在区域土壤水分估值中的应用. 地理研究, 2001, 20(4): 446-452.  
LI Haibin, LIN Zhonghui, LIU Suxia. Application of Kriging technique in estimating soil moisture in China. Geographical Research (in Chinese), 2001, 20(4): 446-452.