

# 卫星遥感海表温度反演结果再处理研究

周 宁<sup>1</sup>, 程 亮<sup>2,3</sup>, 杨志睿<sup>2,3</sup>, 盛 峥<sup>2</sup>

(1. 解放军理工大学指挥自动化学院, 南京 211101; 2. 解放军理工大学气象学院, 南京 211101;  
3. 总参水文气象中心, 北京 100081)

摘 要: 针对东海渔区的海洋渔业应用, 以中国东海渔区( $121^{\circ} \sim 124^{\circ}\text{E}$ ,  $29^{\circ} \sim 32^{\circ}\text{N}$ )NOAA level-2B SST 反演数据为例, 通过不同空间内插方法的对比分析, 得到最优内插模型, 继而获取海表温度图像和海温等值线图, 为海洋渔业提供必要的基础资料。

关键词: 海洋渔业; SST; kriging

中图分类号: P731 文献标识码: A 文章编号: 1003 - 0239 (2008) 4 - 0078 - 07

## 1 引言

我国遥感技术应用于海洋渔业的研究始于 20 世纪 80 年代初。从 1987 年冬汛开始, 定期连续向渔业生产单位提供信息服务。针对卫星遥感海表温度反演方面的研究不断深入, McClain<sup>[1]</sup>等人采用多通道(MCSST)AVHRR 反演算法对海表温度进行检测, 使海温反演精度有较大提高。党顺行<sup>[2]</sup>等对海表温度反演模型进行了研究, 对反演温度精度方面有了一定的改进。虽然海温反演精度不断提高, 但遥感是以云检测为基础, 得到的反演数据存在缺值部分。如何利用有观测数据点处的海温值估计整个区域海温的空间分布, 预测缺值区域的海温值, 继而得到海温图像、绘制等值线图是本文所研究的主要内容。

## 2 资料与方法

### 2.1 数据来源

以中国东海渔区杭州湾区域,  $121^{\circ} \sim 124^{\circ}\text{E}$ ,  $29^{\circ} \sim 32^{\circ}\text{N}$ , NOAA level-2B SST 反演数据为基础, 探讨海温图像和等值线图的获取方法。

### 2.2 插值方法

#### 2.2.1 反距离加权法

反距离加权法<sup>[3]</sup>是比较常用的空间插值方法之一。它认为与未采样点距离越近的点, 对未采样点值贡献最大, 即赋予的权重越大, 具体可用下式表示:

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

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

### 2.2.2 局部多项式法

局部多项式插值是以整个研究区的样点数据集为基础, 用多个多项式来计算预测值, 即用多个平面或曲面进行全区特征拟合。每个多项式都处于特定重叠的邻近区域内。局部多项式不是一个精确的插值方法, 但它能得到一个平滑的表面, 特别是数据集中含有短程变异是局部多项式法生成的表面就能描绘这种短程变异。

### 2.2.3 克里格法

地质统计学<sup>[4]</sup>研究的对象是区域化变量。区域化变量是指在空间分布上既有随机性又有结构性的变量。地统计方法以克里格(kriging)及其各种变种(Cokriging等)为代表<sup>[5]</sup>。克里格法估计式为:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

(2) 式中  $Z(x_i)$  为第  $i$  个取样点的值,  $Z(x_0)$  为插值点值,  $\lambda_i$  为各样点权重系数并由克里格方程组解得。若用 OK 法求解则有:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i, x_j) + \mu = \gamma(x_j, x_0), j=1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (3)$$

(3) 式中  $\mu$  是方差极小化时的拉格朗日乘数,  $\gamma(x_i, x_j)$  为样点间的变异函数值,  $\gamma(x_j, x_0)$  为样点与插值点间的变异函数值。

变异函数是克里格插值的基础, 决定着空间插值的精度如何。一般情况下, 变异函数是通过半变异函数云图, 以实验方差最小为原则, 选择已存在的理论模型。常用的变异函数模型有球形模型、高斯模型和指数模型。

## 2.3 内插模型选择方法

采用交叉验证对 3 种方法的预测结果进行对比分析, 进而选择最佳的内插模型。所谓交叉验证就是: 首先假设其中一个站点的要素值未知, 通过周围  $N-1$  ( $N$  表示站点总

数)个站点的值来估算,然后轮流改变未知站点,最后计算所有站点实测观测值与估计值的误差,以此来评判估计方法的优劣。

为了能够定量的评价各种内插算法的优劣,采用平均数 ME、平均绝对误差 MAE、插值平均误差平方和的平方根 RMSIE 作为评估标准。ME 总体反映估计误差的大小,MAE 可以估量估计值可能的误差范围,RMSIE 可以反映利用样点数据的估值灵敏度和极值效应。

假设在点  $x_1, x_2 \dots x_n$  上原始资料中的海温值为  $T(x_1), T(x_2) \dots, T(x_n)$ , 而进行空间插值后的预测值为  $T'(x_1), T'(x_2) \dots, T'(x_n)$ , 则:

$$ME = \sum_{i=1}^n [T'(x_i) - T(x_i)]/n \tag{5}$$

$$MAE = \sum_{i=1}^n |T'(x_i) - T(x_i)|/n \tag{6}$$

$$RMSIE = \sqrt{\sum_{i=1}^n [T'(x_i) - T(x_i)]^2/n} \tag{7}$$

3 结果分析

3.1 交叉验证结果分析

交叉验证结果如表 1 所示:海表温度预测误差的平均值,其绝对值按大小顺序排列为:反距离加权法>局部多项式法>普通克里格法,分别为:-0.02288,-0.0186,-0.012;3 种方法海表温度预测值的平均绝对误差,大小顺序为:局部多项式法>反距离加权法>普通克里格法,其值分别为:0.467137,0.460373,0.431864;RMSIE 的大小顺序为:反距离加权法>局部多项式法>普通克里格法,其值分别为:0.629338,0.623207,0.615102。由表 1 可知:普通克里格法预测误差总体上较小,并且在预测误差的范围、极值效应方面要优于其它两种方法。

表 1 三种插值方法交叉验证结果

	ME	MAE	RMSIE
反距离加权法	-0.02288	0.460373	0.629338
局部多项式法	-0.0186	0.467137	0.623207
普通克里格法	-0.012	0.431864	0.615102

图 1 显示了插值误差分布图。如果误差分布比较均匀,没有较大的误差梯度,可以认为这种预测结果比较理想<sup>[6]</sup>。从图 1 可以看到普通克里格法预测误差极值比较小,误差梯度不大,误差分布比较平缓。究其原因是克里格法具有描述全场变化的因子,只要能准确构造全场变异函数,就可以避免大梯度的误差分布。另外,这 3 种方法误差极值

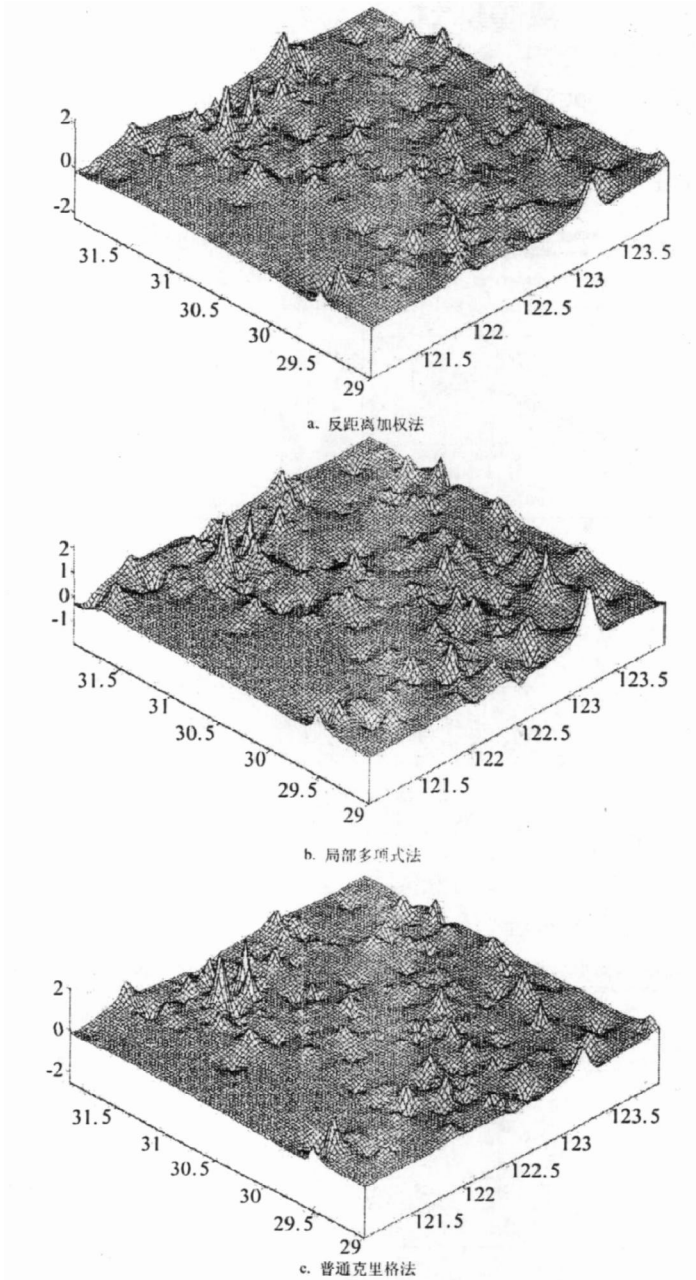


图 1 误差分布图

的分布在多数位置相同，产生这种情况的原因可能是在该位置反演的海表温度出现较大误差，致使数据场平稳性减弱，预测精度降低。

3.2 不同理论模型对克里格算法的影响

图 2 显示了球形模型与高斯模型对算法影响的对比图。图中左边是采用球形模型的

预测结果,右边是采用高斯模型的预测结果,图中下方给出了对应方法的预测精度信息。符合以下标准的模型是最优的:平均值(Mean)、标准平均值(Mean Standardized)最接近于0,均方根预测误差(Root-Mean-Square)最小,平均标准误差(Average Mean Error)最接近于均方根预测误差(Root-Mean-Square),标准均方根预测误差(Root-Mean-Square Standardized)最接近于1。显然采用高斯模型的预测精度要高于采用球形模型的预测精度。

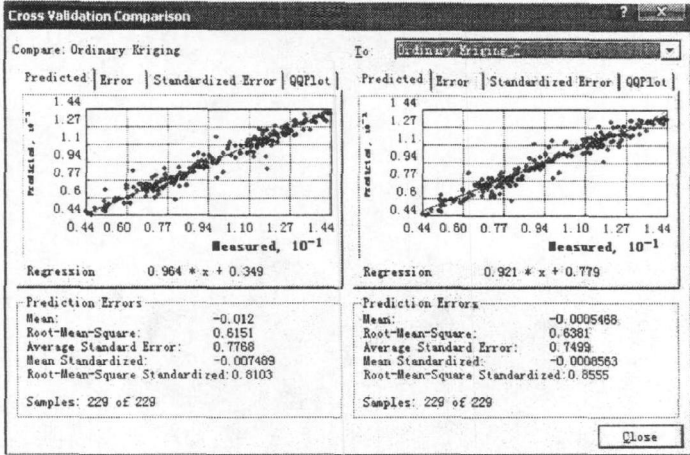


图 2 球形模型与高斯模型对算法影响对比图

图 3 显示了高斯模型与指数模型对算法影响的对比图 左边为高斯模型的预测结果,右边为指数模型的预测结果。从图中可以看出,采用高斯模型的预测精度要明显高于指数模型。通过不同理论模型的对比分析可知,高斯模型为最优理论模型,所选资料中海温数据应该采用高斯模型来拟合变异函数。

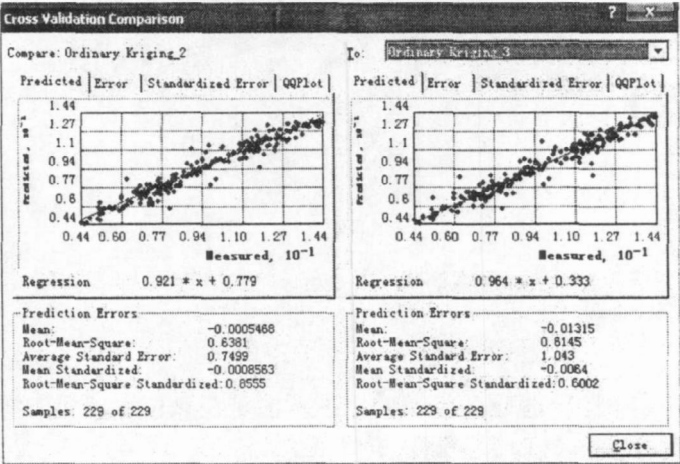


图 3 高斯模型与指数模型对算法影响对比图

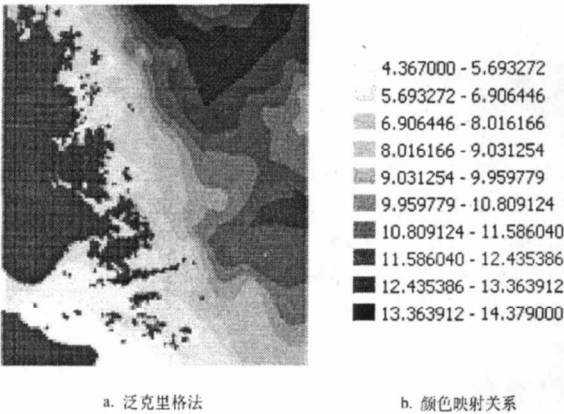


图 4 海温图像

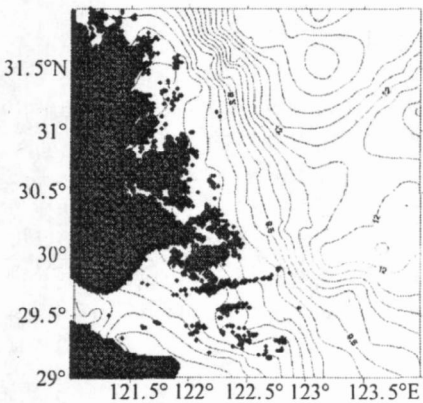


图 5 海温等值线图

3.3 空间插值结果

通过交叉验证可以得出普通克里格法在预测精度方面表现较好，并且应该用高斯模型拟合海温数据场的变异函数，以此完成预测计算。得到预测结果后，利用 ArcGIS 地统计分析模块中预测表面生成功能可以得到海表温度的图像。图 4 显示了普通克里格法产生的海温图像：图4a中灰色区域为陆地区域，其它颜色的变化表征了海温的变化情况，图4b为海温图像中颜色映射关系。图 5 显示了普通克里格法预测结果的海温等值线图。

4 结论

本文利用交叉验证的方法对比分析了 3 种常用内插方法对海温反演数据的预测效果，并利用较优的方法，借助 ArcGIS 地统计分析模块中预测表面生成功能得到了海温分布的图像，并进一步生成了海温的等值线分布图。

- (1) 由于海温反演数据存在缺值区域，空间内插是研究海温空间分布、海温数据连续空间化的基本方法，是获取海温图像及等值线分布的前提。
- (2) 没有绝对最优的空间插值方法，只有特定条件下的最优方法。对于本文所选资料，3 种方法中普通克里格方法取得了较好的效果，更好地反映了海温数据场空间分布特征。通过对普通克里格法中变异函数确定过程的分析发现：只要能确定合理的变异函数形式，普通克里格法就可以取得较好的预测效果。
- (3) 通过交叉验证可以得到各种插值算法预测精度信息。通过对 3 种方法预测误差对比分析发现：原始数据中极值破坏了数据场的平稳性，它们可能是真实的异常值，也可能是奇异点。目前利用直方图、半变异/协方差函数云、Voronoi 图等方式可以查找奇异值，但对于某些位置点处的数值，其反常的特性不是很明显，是否属于奇异值还需要谨慎判定。
- (4) 利用 ArcGIS 地统计分析模块可以方便地对比分析出较优的内插模型，得到海温分布图像及等值线分布图。

## 参考文献：

- [1] McClain E P, Pichel W G, Walton C C. Comparative performance of AVHRR-based multichannel sea surface temperatures. JGR, 1985.
- [2] 党顺行, 杨崇俊, 王宇飞. 卫星遥感海表温度反演研究[J]. 高技术通讯, 2001, 11(3): 49 ~ 52.
- [3] 朱会义, 刘述林, 贾绍凤. 自然地理要素空间插值的几个问题[J]. 地理研究, 2004, 23(4): 425 ~ 432.
- [4] 侯景儒, 黄竟先. 地质统计学理论与方法[M]. 北京: 地质出版社. 1990, 35 ~ 105.
- [5] 王政权. 地质统计学及在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社. 1999, 35 ~ 149.
- [6] 常文渊, 戴新刚, 陈洪武. 地质统计学在气象要素场插值的实例研究[J]. 地球物理学报, 2004, 47(6): 982 ~ 990.

## Study on Processing of Sea Surface Temperature Retrieval Result from NOAA Data

ZHOU Ning<sup>1</sup>, CHENG Liang<sup>2,3</sup>, YANG Zhi-rui<sup>2,3</sup>, SHENG Zheng<sup>2</sup>

(1. Institute of Command Automation, PLA UST Nanjing, 211101 China; 2. The Meteorological Institute of PLA. UST Nanjing, 211101 China; 3. Hydrometeorological center of the general staff, Beijing 100081 China)

**Abstract :** Aim at the ocean fishery of fishing area in East China Sea application, with the NOAA B tevet-2 SST retrieval result of East China Sea fishing area(121° ~ 124°E, 29° ~ 32°N) as example, the study contrasts several different Spatial interpolation methods, then gets superior interpolation model and obtains the sea surface temperature image and equivalent line diagram. It provides necessary foundation data for the ocean fishery.

**Key words :** Ocean fishery ; SST ; kriging