

文章编号: 1007-4619 (2005)02-0148-10

海洋渔业 GIS 中温度水平梯度计算的误差分析和新算法研究

邵全琴, 戎 恺, 游智敏, 马巍巍, 陈卓奇

(中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 在海洋渔业 GIS 应用中, 用现有 GIS 直接计算渔区温度水平梯度时, 由实际距离问题引起的相对误差达 26%、绝对误差达 0.124℃/10km, 同时还存在渔区格网不规则问题和渔区格点值问题。本文提出了基于 SST 等值线计算渔区温度水平梯度一种新的 GIS 算法。该算法的结果优于用 ArcGIS TIN 计算的结果, 并可用于计算盐度、叶绿素等其它海洋要素的水平梯度。

关键词: 海洋渔业 GIS; 渔区; 温度水平梯度; 多剖面内插; SST 等值线

中图分类号: P208/P71 **文献标识码:** A

1 引言

地理信息系统(GIS)技术,自20世纪90年代初被应用于海洋以来,越来越多的海洋研究工作者将之作为海洋信息的处理工具^[1-5]。然而,现有的商业化GIS平台都是针对陆地应用而设计开发,有些GIS功能直接应用于海洋数据的分析计算,将会产生较大误差。但是,目前海洋渔业GIS的应用人员没有充分认识到这一问题,而是直接将有关GIS功能直接进行有关海洋渔业环境数据的分析与计算,如用GIS中计算坡度功能直接计算海洋温度水平梯度,然后用来分析海洋渔场环境。由于温度水平梯度是渔场分析的一个重要海洋非生物环境因子,温度水平梯度的计算误差会影响到渔场分析结果的准确性,同时也会引起一些渔场分析指标上的问题。因此,本文以西北太平洋温度水平梯度计算为例,分析了用现有GIS计算海洋温度水平梯度时,存在的由实际距离引起的误差问题,规则格网与渔区格网在墨卡托投影下无法一一对应的问题,网格值与格点值的差异问题。同时,本文提出了基于等值线计算渔区温度水平梯度的新的GIS算法。该算法结果优于用ArcGIS计算的结果。该算法同样可

以用来计算盐度、叶绿素等其它海洋要素的水平梯度。

2 海洋渔业 GIS 中温度水平梯度计算的误差及问题分析

2.1 实际距离问题引起的温度水平梯度计算误差

GIS中通常用基于栅格的方法计算坡度,坡度函数用一个面拟合 3×3 相邻网格的中心网格值。每个网格的坡度值取其相邻8个网格间变化最大的值。如ArcGIS软件中坡度计算方法^[6]采用的是参考文献[7]中的算法,其中 x 方向的格网大小和 y 方向的格网大小是固定不变的。

地形坡度的定义是单位距离上的高度差,海洋温度水平梯度的定义是单位距离上的温度差。由于二者内涵一致,所以不少研究人员将GIS的坡度计算功能,直接用于海洋温度水平梯度计算。GIS这一功能在进行海洋温度水平梯度大量数据计算和空间分析时,确实是省时有效的工具,但研究区域离赤道较远或空间范围较大时,如用投影距离(海图一般用墨卡托投影)而不考虑地球上实际距离问题,会产生较大的误差。

收稿日期: 2003-10-20; 修订日期: 2004-02-18

基金项目: 中国科学院知识创新工程资助项目(CX10G-D00-10), 863计划资助项目(863-818-11-03), 上海水产大学重点学科建设开放基金。

作者简介: 邵全琴(1962—), 女, 博士, 研究员, 博士生导师; 1984年毕业于南京大学地理系地貌与第四纪地质专业。现从事研究领域: 海洋地理信息系统。出版专著1本, 发表论文30多篇。

墨卡托投影下同一纬线上经度差一定的两点的投影距离随着纬度增加是不变的,但实际上,地球上同一纬线上经度差一定的两点的实际距离随着纬度增加是减小的。如,经度差为 30' 在赤道上的距离

为 54km,在 30° 纬线上的距离则为 48.203km,在 45° 纬线上的距离为 39.357km(表 1)。所以使用投影距离与实际情况会有较大误差。

表 1 不同纬线上经度差为 30' 的实际距离

Table 1 The geodetic distance of longitude 0.5 degree on the different latitude

纬度/(°)	距离/km	纬度/(°)	距离/km	纬度/(°)	距离/km	纬度/(°)	距离/km
30	48.2027757033299	34	46.1440323051087	38	43.8604801766017	42	41.363244894633
31	47.7097334030342	35	45.5938038173893	39	43.2557462465225	43	40.706951806414
32	47.2021582612419	36	45.0296870431822	40	42.6378362459922	44	40.0382590537993
33	46.680204896148	37	44.4518538231778	41	42.0069384013139	45	39.3573703317844

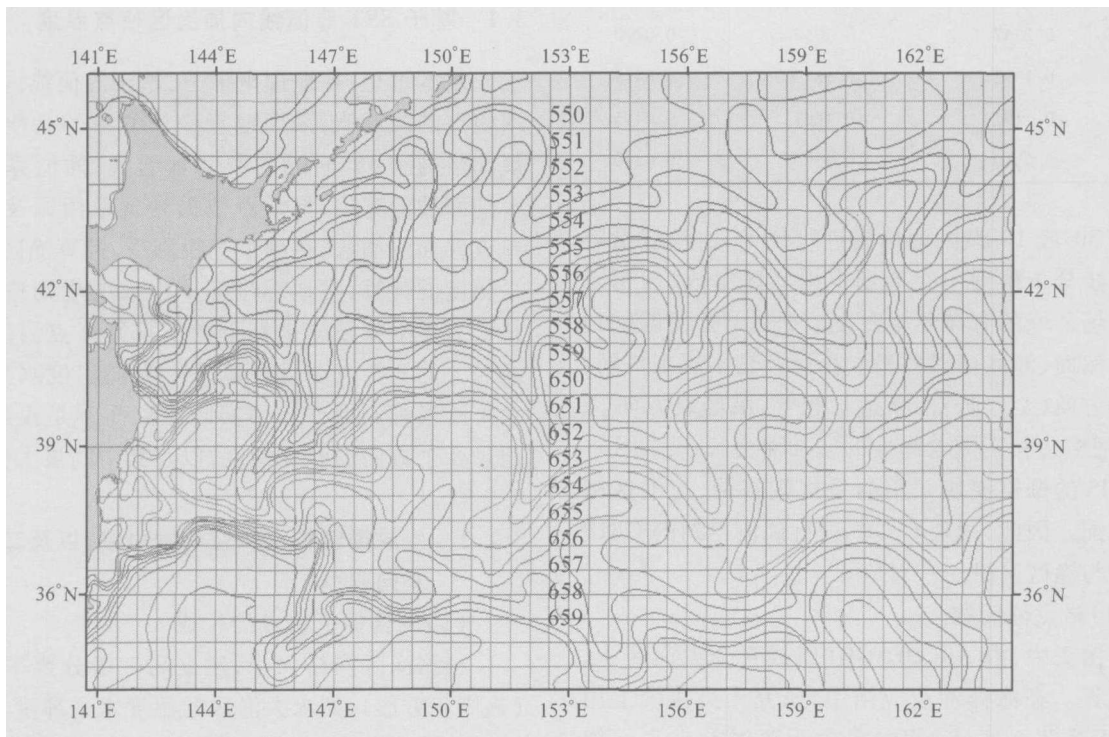


图 1 西北太平洋 SST 等值线(2001 年 1 月 1—4 日)与渔区网格图

Fig. 1 SST isoline on January 1—4, 2001 in Northwest Pacific Ocean and fishing grid

表 2 是用图 1 所示的 SST 数据,计算得到的西北太平洋渔区温度水平梯度,用每个渔区平均温度与其相邻东侧渔区的平均温度计算。其中,梯度 1 是用投影距离计算,即全部用 54km,梯度 2 是用实际距离计算;负数表示中心网格温度高于相邻网格温度,正值表示中心网格温度低于相邻网格温度;绝对误差是二者绝对值的差值。从表 2 中可以看出,绝对误差最大可达 0.124℃/10km。而定义海洋锋的温度梯度指标^[8-10]是($\Delta t/\Delta x \geq 0.1^\circ\text{C}/\text{n mile}$),即

是($\Delta t/\Delta x \geq 0.5399568^\circ\text{C}/10\text{km}$)。由此可见,由实际距离问题引起的误差将影响海洋特征分析结果的准确性,从而影响中心渔场环境分析的准确性。

2.2 渔区网格不规则和渔区格点值问题

(1) 渔区网格不规则问题

在海洋渔业中,习惯于建立一套近海和大洋均使用的 30' × 30' 网格(30' 网格俗称大渔区)和近海使用的 10' × 10' 网格(10' 网格俗称小渔区),渔获量

表 2 基于图 1 SST 等值线用投影距离和实际距离计算的温度水平梯度 (°C/10km) 误差
Table 2 The error of horizontal temperature gradient computed with projecting distance and geodetic distance based on SST isoline in Fig. 1

渔区号	温度水平梯度 1	温度水平梯度 2	绝对误差
550	-3.08×10^{-3}	-4.19×10^{-3}	0.0011
552	3.36×10^{-2}	4.53×10^{-2}	0.0117
554	0.1157	0.1561	0.0403
555	0.3204	0.4321	0.1117
556	0.3557	0.4797	0.1240
558	-0.1143	-0.1542	0.0398
651	0.1885	0.2542	0.0657
652	0.2431	0.3278	0.0847
653	0.2267	0.3058	0.0790
654	0.1392	0.1877	0.0485
657	-0.1192	-0.1607	0.0415
659	-0.2010	-0.2380	0.0370

数据以 30' 或 10' 渔区为单元进行统计,由渔获量数据进一步分析得到中心渔场也由渔区组成,而用来分析渔场环境的海洋环境要素数据通常需要匹配到渔区。然而,渔区格网经墨卡托投影是不规则格网:沿纬线方向(X 方向)网格边长相等,沿经线方向(Y 方向)网格边长则随着纬度的增加而变长(见图 1)。现有 GIS 的栅格模块采用的是规则格网,与渔区格网不匹配。因此,用现有 GIS 进行插值得到的 GRID 值无法与渔区网格一一对应。

(2) 格点值问题

在图 2 中,由 ABCDEFGHI 组成 4 个大渔区 I、II、III、IV。在海洋渔业应用中,研究人员传统上用两点(不是两个区域)间的单位距离温差来表示梯度,即大渔区 I 的温度梯度应该是 AB、或 DE、或 ce、或 BE、或 ah、或 AD、或 DB、或 AE 两点间的温度梯度,实际上这 8 个值在海洋渔业中均具有分析意

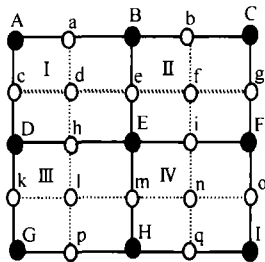


图 2 渔区和格点

Fig. 2 Fishing grid points

义,根据这些值可以综合分析渔区内一些海洋特征,如锋面及走向,冷水舌或暖水舌及走向。而采用现有 GIS 功能计算网格 I 的温度梯度,只能计算网格 I 的温度平均值(或中心点温度值)与相邻 8 个网格(图 2 中只给出相邻的 3 个网格)的温度平均值(或中心点温度值)间差值为最大的一个值。而且由于现有 GIS 采用的是规则的 GRID 或 LATTICE 格网,与渔区格网并不匹配,所以 GRID 或 LATTICE 网格中心点并非渔区中心点。

3 基于 SST 等值线计算渔区温度水平梯度的新方法

3.1 基于 SST 等值线内插渔区格点温度

基本思想:在地理坐标下,基于等值线内插渔区网格点的温度值,采用地理坐标的目的是便于建立规则格网和 45° 间隔的空间索引线;插值算法采用多剖面插值算法,异常点数据处理采用顾及方向的单点移面内插法;在墨卡托投影下,计算渔区温度水平梯度的计算,将地理坐标下生成的规则格点温度转换为墨卡托投影坐标下的不规则格点温度,采用渔区上的 9 个点温度计算 8 个方向温度水平梯度,水平距离采用地球表面实际距离而不是投影距离,记录 8 个方向的温度梯度,以及其中的最大值,共计 9 个值。

3.1.1 生成插值格点和空间索引线、以及二者之间双向索引

(1) 网格插值格点的生成

根据渔区网格大小,建立高一级的分辨率的格网(规则正方形),如求大渔区的温度水平梯度,因为大渔区分辨率为 30' × 30',则建立分辨率为 15' × 15' 的格网,如求小渔区的温度水平梯度,因为小渔区分辨率为 10' × 10',则建立分辨率为 5' × 5' 的格网。本文求大渔区的温度水平梯度,所以建立分辨率为 15' × 15' 的格网,格网线的交点即为需要内插温度的插值格点(图 3 中索引线相交的空心点)。待求插值格点的数据结构为 {SHAPE Point, INSERTID int, Valid bit, Temperature float}, 其中 INSERTID 是唯一标识插值格点的主键。SHAPE 为空间数据字段,以二进制的形式存放插值格点的坐标,利用 ArcObjects 可以直接读取。Valid 表示该点是否有效,1 表示有效,0 表示无效,如插值格点落在岛屿或陆地内时,则插值格点为无效点。建立研究区域的岛屿及陆地的面状

数据集,通过点面拓扑关系的运算,即可判断格点是否有效。Temperature 表示温度值。

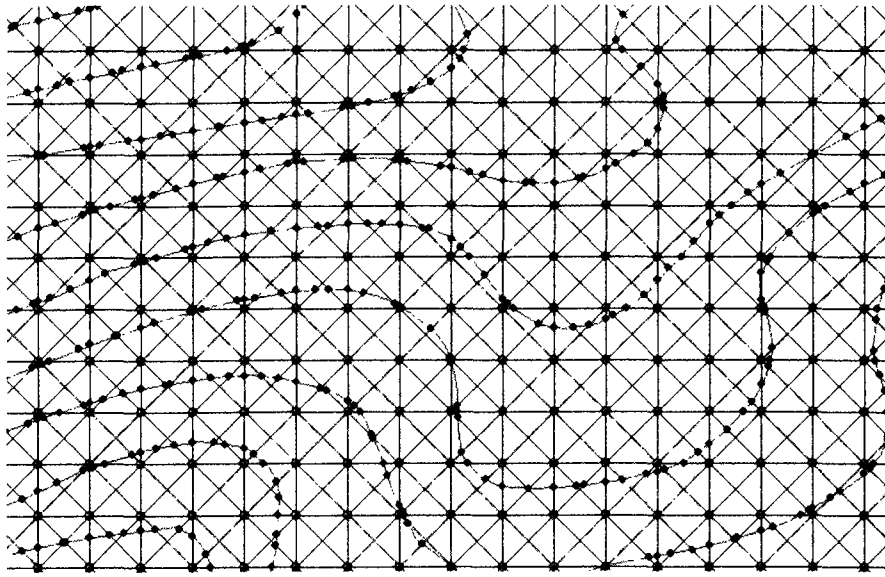


图3 渔区插值格点、空间索引线和等值线的离散化

Fig. 3 The fishing grid points for interpolation, spatial index lines and discretizing of SST isolines

(2) 空间索引线的生成

空间索引是指依据空间实体的位置和形状或空间实体之间的某种空间关系,按照一定顺序排列的一种数据文件。空间索引是一种辅助性空间数据结构,其作用是筛选与特定空间操作有关的空间实体,排除大量与特定空间操作无关的空间实体,从而提高空间操作的速度和效率。常见的空间索引有实体范围索引、网格索引、二叉树、BSP 树、KDB 树、R 树、R + 树、CELL 树索引等。本文因采用多剖面插值方法,故采用线索引。

建立与每个待求插值点相交的索引线(如图3),索引线覆盖整个插值海区,有四个方向:垂直方向(0°),右上左下方向(45°),水平方向(90°),左上右下方向(135°)。一条索引线连接它所在的直线方向上的所有待求插值点。每个待求插值点(图1中的空心点)都有4条索引线通过,对应了它四个方向的剖面。索引线图层的结构为{ SHPAE Polyline, INDEXID int; Direction tinyint },其中 INDEXID 指唯一标识每条索引线的主键,SHAPE 为空间数据字段,以二进制的形式存放索引线的坐标,利用 ArcObjects 可以直接读取。Direction 表示索引线的方向,包含4个值,1表示垂直方向,2表示右上左下方向,3表示水平方向,4表示左上右下方向。

(3) 网格插值格点和空间索引线之间双向索引的建立

建立渔区插值格点与索引线双向索引就是建立索引线和插值格点的多对多关系。本文采用建立索引线和插值格点之间的索引表,其数据结构为{ RID int, INDEXID int, INSERTID int },其中 RID 为该表的主键,INDEXID 为索引线的外键,INSERTID 表示插值格点的外键。

3.1.2 温度等值线的离散化及其与索引线双向索引关系的建立

将索引线与等值线相交,求所有索引线和等值线的交点(图3中等值线上的实心点)。交点的结构为{ SHAPE Point, IntersectID int, Temperature float, TID int },其中 IntersectID 表示主键,SHAPE 为空间数据字段,以二进制的形式存放交点的坐标,利用 ArcObjects 可以直接读取。Temperature 表示该点的温度值,TID 是等值线图层的外键,即通过这个字段可以标识这个交点是属于哪条等值线的。

建立交点与索引线双向索引,这与(3)中建立渔区插值格点与索引线双向索引类似,其索引表的结构为{ RID int, INDEXID int, IntersectID int },其中 IntersectID 表示交点的外键。

3.1.3 基于 SST 等值线内插渔区格点温度的算法

关于基于 SST 等值线内插渔区格点(或海区格点)温度文献很少,不过其算法的基本思想与基于等值线生成规则数字地面模型类似,而基于等值线

生成规则数字地面模型的算法较多^[11-14]。文献[15]借用了基于等值线生成规则数字地面模型的单点移面算法^[13]思想,对基于 SST 等值线内插海区规则格点温度进行了探索研究。本文作者对文献[15]中的算法进行了具体实现,发现存在三个问题:①位于两条等温线之间的格点温度内插值有些并不介于二者温度之间,如位于 10℃ 和 11℃ 等温线之间的格点温度内插值大于 11℃ 或小于 10℃;②等值线弯曲度大、形成温舌区域的所有格点温度内插值相等,且等于该等值线温度值;③区域边缘格点内插温度出现异常值。前两个问题是单点移面算法^[13]存在缺陷,由等值线疏密不均引起,文献[13]中采用了人为加密等值线的办法。而第三个问题是任何一种方法都会出现的。任何研究区域的等值线都存在疏密不均的情况,单点移面的插值方法不适合基于等值线的格点温度或高程插值。

本文将渔区格点温度的插值分为两步完成:第一步,采用多剖面插值算法,基于 SST 等值线进行渔区格点温度的插值,生成渔区格点温度数据集;第二步,采用单点移面插值算法和动态圆搜索方法,利用第一步插值得到的分布均匀的格点温度数据集(其中的有效值),对于边缘异常点进行处理。

(1) 基于 SST 等值线渔区格点温度的插值

1) 多剖面插值算法

张勇发等提出了基于等值线生成规则数字地面模型的多剖面插值算法^[14],本文采用该算法进行基于 SST 等值线渔区格点温度的插值,并对不同条件下选取不同种类曲线进行插值计算方法改良,增加了在一些条件下线性插值计算,并改良了异常点的处理方法。

2) 计算公式和参数

获取待插值点在一个剖面上的已知温度点的过程:图 4 所示,从待计算点 $P(x, y)$ 出发,在 $0^\circ - 180^\circ$ 范围内,引一条角度为 α 的射线,求出这条射线与等值线的交点(每条等值线最多取一个点,射线上取离待插值点最近的两个点) $PT_1(px_1, py_1)$, $PT_2(px_2, py_2)$, 其中 px_1, px_2 表示 PT_1, PT_2 到 P 的距离,且 $px_1 < px_2$; py_1, py_2 代表 PT_1, PT_2 处的温度值,交点数目用 p 表示;再朝这个方向的反方向引一条角度为 $\alpha + 180^\circ$ 射线,求出这条射线与等值线的交点 $NT_1(nx_1, ny_1)$, $NT_2(nx_2, ny_2)$, 其中 nx_1, nx_2 代表 NT_1, NT_2 到 P 的距离的负数,且 $nx_1 > nx_2$; ny_1, ny_2 代表 NT_1, NT_2 处的温度值,交点数目用 n 表示。改变角度 α 值,重复上面的求交过程,可以得

待插值点在所有剖面上的已知温度点。

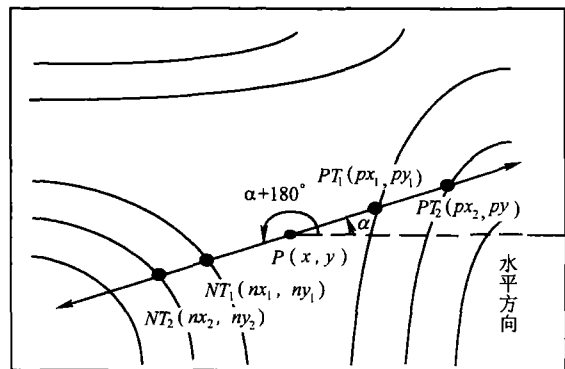


图 4 多剖面插值算法(据张勇发等)

Fig. 4 Multisecton interpolation algorithm (after Zhang yongfa et al.)

本文 α 值采用 45° , 建立角度差为 45° 的 4 个方向的索引线,将索引线与等值线求交。这样,所有待插值点的所有剖面上的已知温度点,可以一次获取并统一存储。计算时,利用前面建立的双向索引表来存取:首先通过渔区插值格点和索引线的双向索引表可以获得通过某个待插值格点各个剖面的索引线,然后通过等值线的离散点和索引线的双向索引表,即可获得每个剖面方向的交点 PT_1, PT_2, NT_1, NT_2 了。

利用某一剖面的两个交点或三个交点的计算温度的插值公式,及计算出的温度值的权值计算公式。

(a) 线性插值(二点插值)公式及其权值:

已知两点 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 及 x , 求 y

$$y = (x - x_2) / (x_1 - x_2) \times y_1 + (x - x_1) / (x_2 - x_1) \times y_2 \quad (1)$$

$$\text{权值 } w = 1 / (|x_1| \times |x_2|) \quad (2)$$

(b) 抛物线插值(三点插值)公式及其权值:

已知三点 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ 及 x , 求 y

$$y = ((x - x_2)(x - x_3)) / ((x_1 - x_2)(x_1 - x_3)) \times y_1 + ((x - x_1)(x - x_3)) / ((x_2 - x_1)(x_2 - x_3)) \times y_2 + ((x - x_1)(x - x_2)) / ((x_3 - x_1)(x_3 - x_2)) \times y_3 \quad (3)$$

如果待插值点在第一、二点之间 ($x_1 < 0, x_3 > x_2 > 0$)

$$\text{权值 } w = [(3.0 / x_2) / |x_1|] \times \min [(x_2 + |x_1|) / (x_3 - x_2), (x_3 - x_2) / (x_2 + |x_1|)] \quad (4)$$

如果待插值点在第二、三点之间 ($x_1 < x_2 < 0, x_3$

> 0), 权值

$$w = [(3.0 / x_3) / |x_2|] \times \min [(|x_2| + x_3) / (x_2 - x_1), (x_2 - x_1) / (|x_2| + x_3)] \quad (5)$$

按上述步骤分别计算出四个剖面的温度值, 如果某个剖面计算出的温度值偏离正常范围(例如在 2℃ 等温线和 3℃ 等温线之间的待求插值点计算出的温度大于 3℃ 或小于 2℃ 则认为该值异常), 则把该剖面方向的权值 w 设为零。最后对各个剖面方向的温度值进行加权平均就得到该点的最终温度值, 如果四个剖面方向权值都为 0 的情况, 这时把该点标记为异常点。异常点主要发生在边缘区域。

(2) 基于规则格点数据进行异常点的处理

进行上述计算后, 仍然有少量的被标记为异常点的待求插值点。这时, 可利用周围一定半径内的已赋值的插值格点, 对异常点进行插值处理。

异常点的插值方法采用武林胜等在 DEM 内插中提出的顾及方向的单点移面内插法^[13]。如内插一个异常点 A 的温度值, 可以利用在一定的距离范围的已赋值的插值点内插此异常点的值, 如果在一定距离范围内找不到一定数量的已赋值的插值点, 则扩大搜索半径进一步查找, 直到找够一定数量为止, 每个已赋值的插值点的温度值被赋予一个与距离有的权 λ , A 点的温度 T_A 的估计值为:

$$T_A^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i T_i, \quad \text{其中: } \lambda_i \geq 0 \text{ 且 } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (6)$$

权值 λ , 采用兼顾已知点分布状态和距离的权函数:

$$\lambda_i = e^{-kd_i} (1 + \beta Q_i) / \sum e^{-kd_i} (1 + \beta Q_i) \quad (7)$$

式(7)中 k 为待定常数, 一般取小于 1 的正数, β 与地形有关。根据海区的特点, 令 $\beta = 1, k = 0.5$, 则公式(7)简化为:

$$\lambda_i = e^{-0.5D_i} (1 + Q_i) / \sum e^{-0.5D_i} (1 + Q_i) \quad (8)$$

式(7)(8)中 Q_i 为顾及方向的、确定已知点间密切程度的函数:

$$Q_i = \sum_{k=1, k \neq i}^n d_k (1 - \cos \angle iok) / \sum_{k=1, k \neq i}^n d_k \quad (9)$$

式(9)中, $\angle iok$ 表示 i 点和其它已知点与待定点连线的夹角。 Q_i 的取值范围为 $[0, 2]$, 若 Q_i 越大, 表示 i 点与内插估计邻域内其它所有已知点的距离密切程度越低, 则 i 点对待定点的影响也就越大; 反之密切程度越高, 则对待定点的影响也就越小。

3.1.4 渔区格点插值温度的验证

用两种方法对渔区格点插值温度进行了验算。第一种方法是利用马龙等提出的 GIS 中 DEM 精度评价方法^[16]。用格点内插温度值叠加原始等值线, 目测方法检验全图, 没有发现异常值(如, 位于 10 与 11 等值线之间, 但值小于 10 或大于 11), 以及同片值(等值线曲度大的温舌上, 温度值全部相等, 并等于该条等值线的值。用目测方法检验分别用 ArcGIS 基于不规则三角网(TIN)的线性插值和二元五次多项式插值的同期结果, ArcGIS 线性插值结果中有大量的同片值, ArcGIS 二元五次多项式插值的结果中有少量异常值。随机抽取 1995 年 3 月 13—16 日图中 16 个检查点, 适当放大后, 人机交互确定检查点同相邻两等值线的距离比例, 以线性内插求出检查点的温度, 与本文算法求出的温度点进行比较验证, 绝对误差最大为 0.11, 最小为 0, 相对误差最大为 8.66%, 最小为 0。

第二种验证方法是回放等值线, 即用插值得到的格点温度生成等值线, 与原始等值线比较。用本文算法、ArcGIS 基于 TIN 的线性插值和二元五次多项式插值方法, 生成 $15' \times 15'$ 格点温度值。然后, 统一用 ArcMap 扩展模块的 contour 功能, 将三种格点温度值反插生成等值线(图 5(a)、(b)、(c))。从图中可以看出, ArcGIS 线性插值回放等值线效果最差。ArcGIS 基于 TIN 的二元五次多项式插值效果次之, 在 1995 年 3 月 13—16 日图中有两处因格点温度异常值产生的错误(图 5(c)中小圈, 另一处因篇幅关系在图幅外)。本文算法回放等值线效果最好, 只有一处弯曲严重处效果不好(图 5(a)中黑圈), 但在 ArcGIS 基于 TIN 的两种算法的回放图中也一样, 这是插值格点分辨率低的原因所造成。

3.2 渔区温度梯度的计算

3.2.1 地球表面任意两点距离计算

实际上, 地球是一个两极扁平的椭球体。一个光滑表面上两个点间最短的距离路径被称为测地线(geodesic curve), 在平面上测地线就是直线, 在球体表面上测地线就是大圆^[17,18]。Vincenty 提出了计算测地线正、逆公式的迭代算法, 用该算法编的程序, 有很消耗空间少, 执行速度快的优势^[19]。文本采用其逆公式迭代算法, 用 C 语言实现了此方法, 可求出两点间测地线的长度。计算的结果与美国地质勘测(PROJ)系统中的 geod 程序结果一致。geod 计算的结果被认为是相当精确, 在 <http://www.indo>

com/distance/上获得 geod 的计算结果。

在高纬度地区计算半个经纬度的实际距离,分

别用椭球体公式以及球面公式计算,发现利用球面公式计算距离误差可达 200 多米。

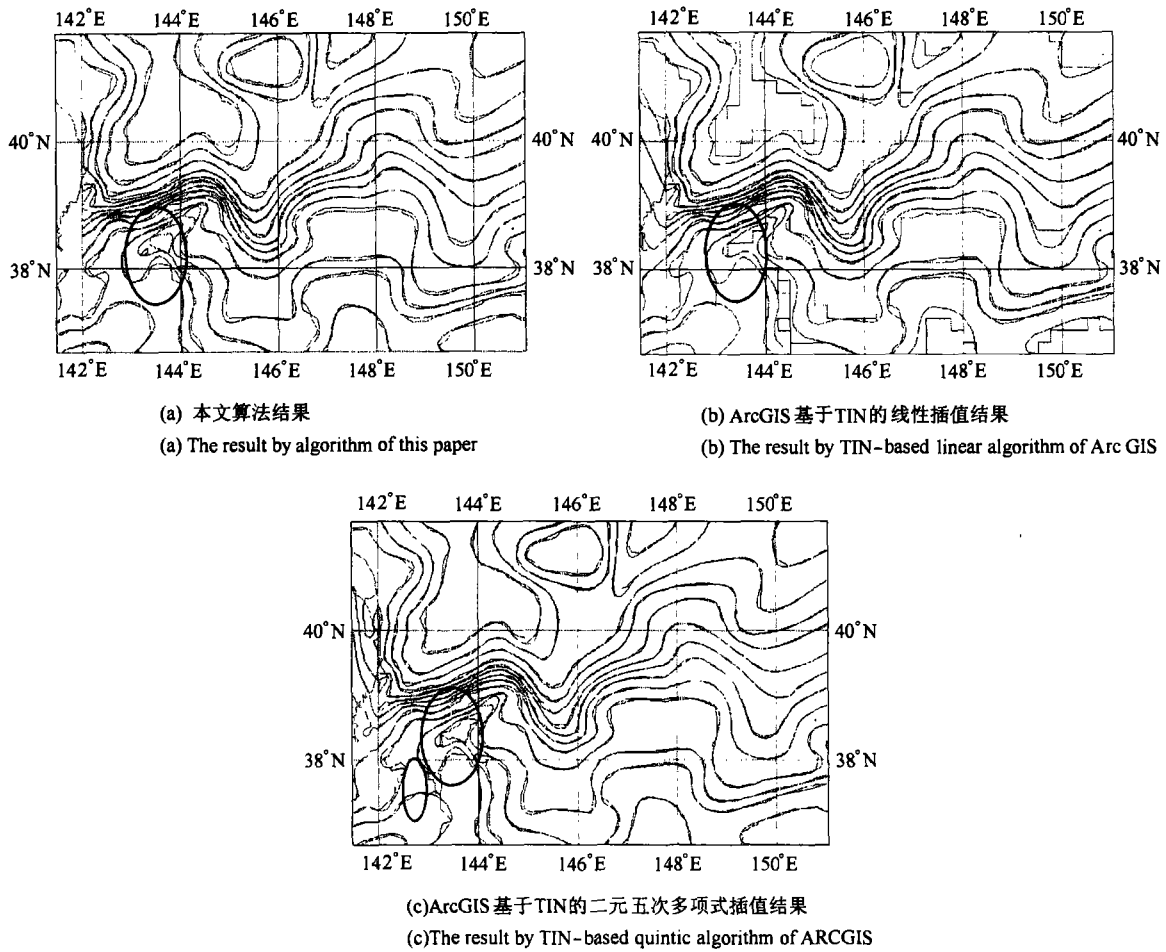


图 5 渔区格点温度插值结果的比较验证

Fig. 5 The comparison of interpolating temperature interpolation results

3.2.2 渔区温度梯度的计算方法

在渔区格点的数据结构中,渔区格点编号为渔区号(行业编码)加渔区格点序号(图 6)。渔区温度梯度的计算公式为:

$$\Delta T = (T_i - T_j) / D_{ij} \quad (10)$$

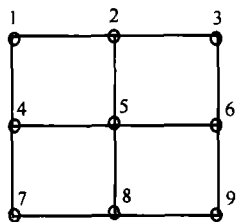


图 6 渔区格点序号

Fig. 6 The serial number of fishing grid points

式(10)中: T_i 为渔区格点*i*的温度, T_j 为渔区格点*j*的温度, D_{ij} 为格点*i*和格点*j*之间的实际距离,是一个动态值,由前文介绍的地球椭球体表面距离公式计算, $i \neq j$, $ij = \{(1,3), (4,6), (7,9), (1,7), (2,8), (3,9), (1,9), (3,7)\}$ 。

渔区温度梯度数据存储结构为{渔区 shape, 渔区号, 渔区格点 1 和 3 间的温度梯度, 渔区格点 4 和 6 间的温度梯度, 渔区格点 7 和 9 间的温度梯度, 渔区格点 1 和 7 间温度梯度, 渔区格点 2 和 8 间的温度梯度, 渔区格点 3 和 9 间的温度梯度, 渔区格点 1 和 9 间的温度梯度, 渔区格点 3 和 7 间的温度梯度, 8 个方向梯度的最大值}。

3.2.3 渔区温度梯度的检验

用本文算法、ArcGIS 基于 TIN 的线性插值方法和二元五次多项式插值方法获得的温度值,分别用

本文的梯度算法和 ArcGIS 坡度计算功能计算了西北太平洋渔区温度水平梯度(图 7(a),(b),(c))。从图 7 中可以看出前文所分析的渔区不规则问题和实际距离问题。渔区在墨卡托投影下是不规则的,用 ArcGIS GRID 计算的规则格点温度水平梯度很难与渔区配准,而本文梯度算法解决了这一问题。用 ArcGIS GRID 计算温度水平梯度用的是投影距离,本文梯度算法则用的是地球椭球体表面实际距离。以 1995 年 3 月 13—16 日为例,利用本文插值算法得到的温度值,用本文梯度计算方法得到的最大温度梯度值为 11.42 (°C/100km, 下同),最小值为 0.16;利用 ArcGIS 基于 TIN 的插值方法得到的温度值,用 ArcGIS GRID 计算的温度梯度最大值为 8.56,最小值为 0;利用 ArcGIS 基于 TIN 的插值方法

得到的温度值,用 ArcGIS GRID 插值方法计算的温度梯度最大值为 8.72,最小值为 0.0147。ArcGIS 两种算法得到的梯度值差异较小,其差异是由不同插值方法得到的格点温度值不同引起的。而本文算法与 ArcGIS 算法得到的结果差异较大,主要原因一方面是本算法在温度水平梯度计算中使用了实际距离,而 ArcGIS 在温度水平梯度计算中则使用的是投影距离;另一方面本文用渔区四个角和 4 个边中心点共计 8 个点的温度值,用公式(10)计算的渔区水平温度,而 ArcGIS 用的是该渔区中心点温度值与相邻 8 个渔区中心点温度计算的渔区温度水平梯度。从图 7 中可以看出,用本文算法得到的渔区温度水平梯度结果更加合理。此外,根据本算法得到的渔区其它方向温度水平梯度,可以分析该渔区内的等

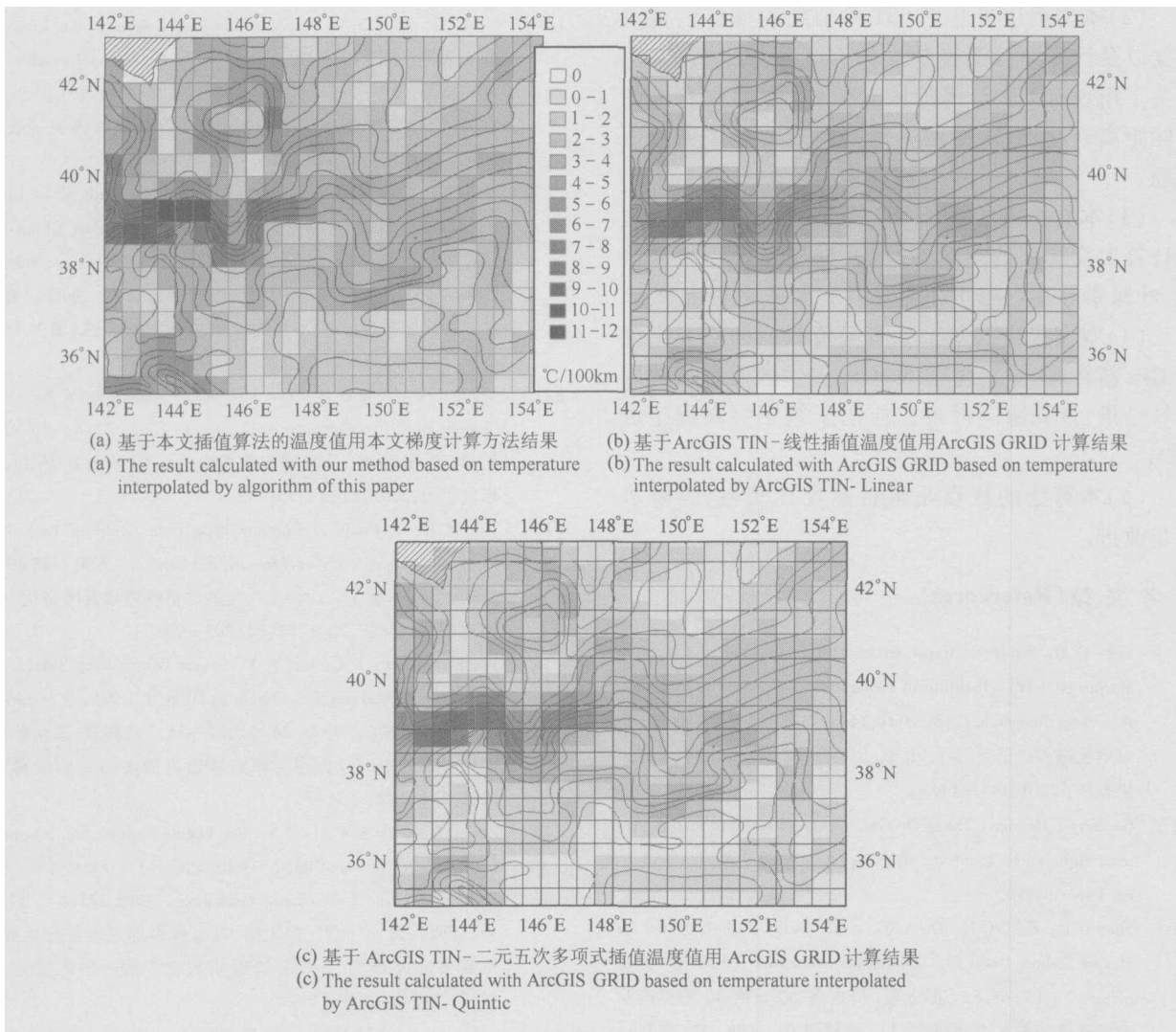


图 7 渔区温度梯度计算结果比较
(图例 1—2 表示大于 1 小于等于 2)

Fig. 7 The comparison of temperature gradients by different calculating methods
(1—2 is expresses 1 < value ≤ 2 in legend)

值线的走向。其中,渔区不规则问题,在 ArcGIS 中可以用功能转换间接的方法解决,但是,实际距离问题和格点值问题用现有 GIS 功能是没有办法可以解决的。

4 结 论

(1)用现有 GIS 坡度计算功能进行渔区温度水平梯度的计算,存在实际距离、渔区格网不规则、渔区格点值等问题。以利用 2001 年 1 月 1—4 日西北太平洋 SST 等值线计算渔区温度梯度为例,仅由实际距离问题引起的误差:在 550 渔区相对误差最大,达到 26.48%;556 渔区绝对误差最大,达 0.124℃/10km。这对分析渔场环境有较大影响。

(2)本文提出了基于 SST 等值线内插渔区格点温度以及计算渔区温度梯度的 GIS 新算法,该方法解决了用现有 GIS 计算渔区温度水平梯度中存在的实际距离问题、渔区格网不规则问题和渔区格点值问题。

(3)本文提出的基于 SST 等值线内插格点温度和计算温度梯度的 GIS 新算法,同样适合于海洋盐度、叶绿素等其它海洋环境要素的水平梯度计算。

(4)本文提出的基于 SST 等值线内插格点温度的 GIS 新算法,结果优于 ArcGIS 提供的两种算法的计算结果,该算法同样可以应用于基于等高线生成 DEM。

(5)本算法的缺点是运行速度比较慢,需要进一步改进。

参 考 文 献 (References)

- [1] Shao Q Q. Study on Representation of Spatio-temporal Data in Marine GIS[D]. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS. 2001:144—146. [邵全琴. 海洋 GIS 时空数据表达研究[D]. 北京:中国科学院地理科学与资源研究所,2001:144—146.]
- [2] Geoffery J Meaden, Thang Do Chi. Geographical information systems applications to marine fisheries[R]. FAO Fisheries Technical Paper, 1996.
- [3] Shao Q Q, Zhou C H, Du Y Y, et al. Study on E-R Model for Marine Fishery Data[J]. *Geographical Research*. 1998, 17(Supplement):108—116. [邵全琴,周成虎,杜云艳等. 海洋渔业数据建模的 E-R 方法研究[J]. 地理研究,1998,17(增刊):108—116.]
- [4] Shao Q Q, et al. Marine Fisheries Geographical Information System—Research and Applications [M]. Science Press. 2001:228—238. [邵全琴等. 海洋渔业地理信息系统研究与应用 (M). 科学出版社,2001:228—237.]
- [5] Shao Q Q, Zhou C H, Sheng X Q, et al. Operational GIS and RS Technology & Methods for Marine Fishery [J]. *Journal of Remote Sensing*. 2003,7(3):194—199. [邵全琴,周成虎,沈新强等. 海洋渔业遥感地理信息系统应用服务技术和方法[J]. 遥感学报,2003,7(3):194—199.]
- [6] ESRI. Arc/info help.
- [7] Burrough P A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment [M]. Oxford University Press, New York, 1986.
- [8] Zheng Y F, Tang Y X, Huang W M. et al. Short-period Variation of the Kuroshio Front in the Northeastern East China Sea and its Effects on the Sea Conditions on the Two Sides of the Front [C]. Study Papers on Kuroshio Investigation (III). Science Press. 1991:26—35. [郑义方,汤毓祥,黄卫民等. 东海北部黑潮锋的短周期变动及其两侧海况的变化[C]. 黑潮调查研究论文选(III). 科学出版社,1991:27—35.]
- [9] Yu H H, Miao Y T. Analysis of Characteristic of the Kuroshio Front in the East China Sea[C]. Study Papers on Kuroshio Investigation (III). Science Press. 1991:205—211. [于洪华,苗育田. 东海黑潮锋的特征分析[C]. 黑潮调查研究论文选(III). 科学出版社,1991:205—211.]
- [10] Wan B J, Tang Y X, Guo B H. A Preliminary Study of the Characteristics of Oceanic Front in the Northeastern East China Sea [C]. Study Papers on Kuroshio Investigation (III). Science Press. 1991:13—22. [万邦君,汤毓祥,郭炳火. 东海北部海洋锋特征的初步分析[C]. 黑潮调查研究论文选(III). 科学出版社,1991:13—21.]
- [11] Wang J Y, Teng S Q. The Method of Making DEM Based on Contour line[J]. *Computer Applications*. 2002, 22(8):30—35. [王建宇,滕树钦. 一种基于等高线生成 DEM 的方法[J]. 计算机应用,2002,22(8):30—35.]
- [12] Guo Z H. A Practical Contour Type Data Gridding Technique [J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*. 2001, 25(3):203—208 [郭宏志. 一种实用化的等值线型数据网格化方法[J]. 物探与化探,2001,25(3):203—208.]
- [13] Wu S L, Zhang X L, Liu W K. Single Point Chang Surface Interpolation Containing Orientation in DEM[J]. *Science of Surveying and Mapping*. 2001, 26(2):27—31. [武林胜,张学礼,刘文错. DEM 中顾及方向的单点移面内插法[J]. 测绘科学,2001,26(2):27—31]
- [14] Zhang F Y, Xu S W, Li C X. Use Isoline Multisection Interpolation to Make Regular Digital Terrain Model[J]. *Earth Science — Journal of China University of Geosciences*. 1998, 23(4):390—392. [张发勇,徐世武,李才仙. 等值线多剖面插值法生成规则数字地面模型[J]. 中国地质大学学报——地球科学,1998,23(4):390—392.]
- [15] Ji M, Jin F X, Li Y L. et al. The Sea Area Grid points Interpolating Arithmetic Study Based on SST Isoline[J]. *Journal of Xian Research Institute of Surveying and Mapping*. 2003,23(3):35—38. [季民,靳奉祥,李云岭等. 基于 SST 等值线的海区网格点内插算法研究[J]. 解放军测绘研究所学报,2003,23(3):

- 35—38.]
- [16] Ma L, Du D S. Analysis and Evaluation of the Accuracy for the DEM Products in GIS [J]. *Journal of Geomatics*, 2003, 28(3): 4—6. [马龙,杜道生. GIS 中 DEM 产品精度的分析和评价 [J], 测绘信息与工程, 2003, 28(3): 4—5.]
- [17] Williams. Aviation Formulary V1.40, <http://williams.best.vwh.net>
- [18] Williams. Navigation on the spheroidal earth, <http://williams.best.vwh.net>
- [19] T. Vincenty, Direct and Inverse Solutions of Geodesics on the ellipsoid with Application of Nested Equations, *Survey Review*, Vol. XXII, No. 176, April 1975.

Error Analysis and a New Algorithm to Calculate Horizontal Temperature Gradient in Marine Fishery GIS

SHAO Quan-qin, RONG Kai, YOU Zhi-min, MA Wei-wei, CHEN Zhuo-qi

(Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Because the statistical unit of catch production is fishing grid whose size is $30' \times 30'$ or $10' \times 10'$ in marine fishery, the horizontal temperature gradient of fishing grid need to be calculated in order to analyze fishing ground environment by scientists. But there are the questions of real distance, irregular grid (after fishing grid is projected to Mercator projection), value of grid points (not cell value) if current commercial GIS software is used to calculated temperature gradients of fishing grid. For example, the max relative error of temperature gradient of fishing grid reaches 26.48%, and the max absolute error of horizontal temperature gradient of fishing grid is $0.124^\circ\text{C}/10\text{km}$, which is caused by the question of real distance and calculated from SST isolines on January 1—4, 2001 in Northwest Pacific Ocean.

A new algorithm to calculate horizontal temperature gradient of fishing grid from SST isoline is presented in this paper.

The basic principle of this new algorithm is as follow:

Interpolating temperature of fishing grid points in geographical coordinate system in order to build regular grid and index lines which angle is 45 degrees. The multi-section algorithm is used to interpolate temperature of fishing grid points, and exceptional temperature values are dealt with single point change surface interpolation containing orientation.

The coordinate of fishing grid points with interpolating temperature is projected using Mercator projection, and the regular fishing grid becomes irregular fishing grid. The eight direction horizontal temperature gradients are computed with temperature values of nine points on each fishing grid, and the length of any two points, which is an important parameter, uses geodetic distance of elliptic earth.

The methods of validating results are as follows:

(1) The interpolating temperature of grid points is validated with two methods. One is manual estimation with temperature values of fishing grid points overlaying original SST isoline. Another is to compare SST isoline by overlaying original SST isoline on SST isoline generated with interpolating temperature of grid points. The same methods are used to validate the interpolating temperature of grid points by ArcGIS TIN. The result by algorithm of this paper is better than results by ArcGIS TIN.

(2) The horizontal temperature gradient of fishing grid is validated by manual estimation with horizontal temperature gradient values of fishing grid overlaying original SST isoline. The same methods are used to validate results by ArcGIS GRID the interpolating temperature of grid points by ArcGIS. The result by algorithm of this paper is better than the results by ArcGIS.

Key words: marine fishery GIS, horizontal temperature gradient, error analysis, fishing grid, multi-section interpolating