

一种改进的潮滩数字高程模型构建方法

李 宁^{1,2} 田 震^{1,2} 张立华^{1,2} 彭认灿^{1,2}

(1 海军大连舰艇学院海洋测绘系,大连市解放路 667 号,116018)

(2 海军大连舰艇学院海洋测绘工程军队重点实验室,大连市解放路 667 号,116018)

摘 要:提出一种基于趋势面优化与克里金插值组合的 IZDEM 建模方法。通过最优等价权控制不同源数据精度差异对建模质量的影响,优化拟合潮滩地形的趋势面;利用克里金插值方法,顾及潮滩地形变化的各向异性构建残差面,最后利用优化的趋势面和残差面组合构建 IZDEM。实验表明,在利用多源潮滩数据构建 IZDEM 时,本方法可以提高 IZDEM 的整体建模质量。

关键词:潮滩 DEM;趋势面优化;克里金插值;多源数据;各向异性

中图分类号:P229

潮滩数字高程模型(intertidal zone digital elevation model, IZDEM)是对潮滩地形的数字化表达^[1-3]。在获取高密度数据比较困难的区域,利用已有潮滩数据进行空间插值构建网格 IZDEM 是生成潮滩地形分析数据的一条重要途径^[4]。潮滩数据来源复杂多样,由于测量时间不同、使用仪器不同、采集方式各异^[5],不同源数据的精度存在差异。另外,由于潮滩地形成因的特殊性,其地表形态的变化具有各向异性^[6]。这都将影响 IZDEM 的建模质量。

针对多源数据情况下的 DEM 构建,国内外学者已经进行了一些研究^[7-12]。其中,张立华、吴超等提出了一种顾及不确定度的建模方法^[7-8]。该方法通过在采样点数据权重配赋中加入不确定度信息,改进反距离加权插值方法。当数据密度较小时,上述改进的反距离加权插值法会产生牛眼效应^[9],而且没有顾及潮滩地形变化的各向异性,并不适合多源数据情况下的 IZDEM 构建。

为同时顾及不同源数据精度差异和潮滩地形变化各向异性对建模质量的影响,本文提出一种基于趋势面优化和克里金插值组合的 IZDEM 建模方法。

1 趋势面优化与克里金插值组合构建 IZDEM

1.1 基本思想

按照地统计学思想,任何区域的地形总可以分成确定趋势性成分和局部变化两部分^[1,13]:

$$Z(S) = u(S) + R(S) \quad (1)$$

式中, $Z(S)$ 表示地形表面, $u(S)$ 表示地形的整体趋势面, $R(S)$ 表示与整体趋势不一致的局部变化曲面。对于地形趋势面和局部变化曲面,一般可以采用不同的方法分别建模^[14]。

趋势面优化与克里金插值组合进行 IZDEM 建模的具体思路是:首先在顾及不同源数据精度差异的前提下,采用类似抗差估计原理控制多源数据差异对整体趋势面拟合的影响,通过最优等价权因子,对不同源数据精度差异采用连续降权或连续减弱影响的方法“平滑”地抵制数据精度差异对估值的影响,得到与潮滩地形拟合度更好的地形趋势面 $u(S)$;在此基础上,顾及潮滩地形变化的各向异性,对残差部分进行克里金插值,获取趋势面与实际地形表面之间的局部地形差异信息,得到残差面 $R(S)$,最后组合 $u(S)$ 与 $R(S)$ 得到最终的 IZDEM。

收稿日期:2013-06-04。

项目来源:国家自然科学基金资助项目(41171349);国家 863 计划资助项目(2012AA12A406)。

1.2 趋势面优化拟合

1.2.1 趋势面模型

趋势面反映的是地形变化的主体特征。常采用二次多项式进行拟合:

$$u(s) = \beta(s)\alpha(s) \quad (2)$$

式中, s 表示内插点, $u(s)$ 为相应的高程值, $\beta(s) = (1, x, y, xy, x^2, y^2)$, $\alpha(s) = (a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)^T$ 。

根据最小二乘原理, 构建以下函数:

$$Q = \sum_{i=1}^n w_i (u(s_i) - z_i)^2 = \sum_{i=1}^n w_i (a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i + a_3 x_i y_i + a_4 x_i^2 + a_5 y_i^2 - z_i)^2 = \min \quad (3)$$

式中, z_i 表示采样点的实测高程值; w_i 代表采样点的权重, 常采用以下模型:

$$w_i = 1/d(s, s_i)^2 \quad (4)$$

式中, $d(s, s_i)$ 表示内插点 s 与采样点 s_i 的欧氏距离。

式(3)~(4)经推导, 可得多项式系数向量:

$$\alpha(s) = [A^T W A]^{-1} [A^T W L] \quad (5)$$

式中, $A = [(\beta(s_1), \dots, \beta(s_n))]^T$, $L = [(z_1, \dots, z_n)]^T$, $W = \text{diag}(w_1, \dots, w_n)$ 。

1.2.2 最优等价权

常规的趋势面拟合过程中, 采样点权重只考虑了距离对插值精度的影响(式(4))^[15-16]。根据采样点距内插点的距离, 利用“距离越远对插值点的影响越小”的思想, 赋予采样点以适当的权值。为同时顾及距离和不同源数据精度差异对插值精度的影响, 本文提出最优等价权的概念, 并基于最优等价权优化趋势面建模, 构造与潮滩地形表面拟合更好的趋势面模型。最优等价权模型如下:

$$\bar{w}_i = w_i \cdot u_i \quad (6)$$

式中, w_i 表示权值中的距离因子, u_i 表示权值中的数据精度因子。式(6)可以进一步写成:

$$\bar{w}_i = \frac{1}{d(s, s_i)^2} \cdot \exp \left[k_H \left(1 - \frac{\delta_{H_i}}{\delta_{H_0}} \right) + k_V \left(1 - \frac{\delta_{V_i}}{\delta_{V_0}} \right) \right] \quad (7)$$

式中, k_H, k_V 表示调控因子, 调控数据源在水平方向和垂直方向上的精度差异对权值的贡献, 一般情况下均取 0.1; $\delta_{H_i}, \delta_{V_i}$ 分别表示某数据源在水平方向和垂直方向上的标准差; $\delta_{H_0}, \delta_{V_0}$ 分别表示精度最高的数据源在水平方向和垂直方向上的标准差, 即 $\delta_{H_0} = \min(\delta_{H_i}), \delta_{V_0} = \min(\delta_{V_i})$ 。如果数据含有具体的精度信息(如单波束、多波束水深数据可能包含不确定度信息^[7-8, 17]), 可以根据相应

信息计算标准差。大多数情况下, 数据源不包含具体的精度信息, 且不同源数据在融合集成的过程中, 存在不同的融合误差。因此, 可以根据数据描述文件提供的测量工具、测量方式、测量比例尺、成图精度以及数据融合等信息推估不同源数据的标准差 $\delta_{H_i}, \delta_{V_i}$, 即

$$\delta_i = \sqrt{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \delta_c^2 + \delta_d^2 + \delta_e^2 + \delta_f^2 + \delta_g^2} \quad (8)$$

式中, $\delta_a, \delta_b, \delta_c, \delta_d, \delta_e, \delta_f, \delta_g$ 分别表示与测量工具、测量方式、测量比例尺、成图精度、测量时间、数据融合以及其他因素相关的标准差。

1.2.3 基于最优等价权的趋势面模型

根据最小二乘原理, 基于最优等价权, 构建以下函数:

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^n \bar{w}_i (u(s_i) - z_i)^2 = \sum_{i=1}^n \bar{w}_i (a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i + a_3 x_i y_i + a_4 x_i^2 + a_5 y_i^2 - z_i)^2 = \min \quad (9)$$

式(6)~(9)经推导, 可得多项式系数向量:

$$\alpha(s) = [A^T \bar{W} A]^{-1} [A^T \bar{W} L] \quad (10)$$

式中, $A = [(\beta(s_1), \dots, \beta(s_n))]^T$, $L = [(z_1, \dots, z_n)]^T$, $\bar{W} = \text{diag}(\bar{w}_1, \dots, \bar{w}_n)$ 。

将式(10)代入式(2), 即得到内插点的估值, 进而得到基于最优等价权的趋势面。

从上述描述可以看出, 基于最优等价权的趋势面插值方法通过最优等价权同时顾及了距离和数据精度差异对内插点估值的影响。通过距离因子 w_i 参数控制距离因素对插值的影响, 距离越近, 权重越大, 超过一定距离, 权重趋近于零; 通过数据精度因子 u_i 参数控制不同源数据精度差异对插值结果的影响, 不同源数据精度差异越小权重越大、精度差异越大权重越小, 当精度差异明显异常时, 权重趋近于零。通过上述定权, 实现顾及距离和不同源数据精度差异的权值合理调配, 满足距离越近权值越大、精度越低权值越小的基本要求。

1.3 残差面的构建

基于最优等价权的趋势面模型仅提取了潮滩地形的趋势部分, 趋势面在采样点处的推估值与实测值可能不相等, 在此将两者之差计为残差 $R(s_i)$:

$$R(s_i) = Z(s_i) - u(s_i) \quad (11)$$

为进一步获取趋势面与实际地面之间的局部地形差异信息, 需要对残差进行内插建模, 构建相应的网格残差模型, 并根据式(1)得到最终的网格 IZDEM。为顾及潮滩地形变化各向异性的特点, 对采样点残差值进行克里金插值, 并在插值过程

中体现潮滩地形变化的各向异性。

1.3.1 普通克里金插值

克里金插值法(Kriging)^[18-19]是一种基于地统计学原理的插值方法,用协方差函数和变异函数来确定高程变量随空间距离变化的规律,在有限区域内对区域化变量进行无偏最优估计,将内插点值 z_s 看作邻域内 n 个采样点值的线性组合:

$$z_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i \quad (12)$$

式中, z_s 是内插点 $s(x, y)$ 的估计值, z_i 是第 i 个采样点的实测值, λ_i 是第 i 个采样点的权系数。

在最优无偏估计的前提下,可得权系数 λ_i 的方程组:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda_i r(h_{ij}) + \mu = r(h_{is}), j = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (13)$$

式中, μ 是拉格朗日乘数, h_{ij} 表示 z_i 与 z_j 的相对距离, h_{is} 表示 z_i 与 z_s 的相对距离, $r(h_{ij})$ 是 z_i 与 z_j 的变异函数值, $r(h_{is})$ 是 z_s 与 z_i 的变异函数值。可见,变异函数的可靠性决定着克里金插值的准确性。本文选择线性模型为变异函数拟合模型:

$$r(h, \theta) = \begin{cases} a_0, h = 0 \\ a_0 + a_1(h/a_2), 0 < h < a_2 \\ a_0 + a_1, h > a_2 \end{cases} \quad (14)$$

式中, a_0 表示块金值, $a_0 + a_1$ 表示基台值, a_2 表示变程。在不考虑各向异性的情况下,两点 (x_i, y_i) 、 (x_k, y_k) 相对距离的计算公式如下:

$$h_{ik} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2} \quad (15)$$

根据式(12)~(15),即可求出内插点的估计值。

1.3.2 顾及潮滩地形变化各向异性的克里金插值

当地形变化表现出各向异性时,某一方向上的采样点与内插点具有更高的相关性。此时,在内插过程中,应当赋予这一方向上采样点更高的权重,相应的权重由各向异性比决定^[20]。

潮滩地形变化的各向异性主要体现在平行海岸方向和垂直海岸方向^[21]。平行于海岸方向上的采样点与模型点的空间相关性较高,而垂直于海岸线方向上的采样点与模型点的相关性较小。因此,可以根据潮滩趋势判断海岸走向,通过最小二乘拟合分别求出平行海岸和垂直海岸方向的线性模型参数,从而确定各向异性比。这一处理简化了各向异性比的确定过程。

在平行于海岸方向(θ ,从正东逆时针起算),求出变异函数 $r(h, \theta)$ 的系数 a_0, a_1, a_2 ;在垂直于海岸方向(θ^\perp),求出相应的变异函数 $r^\perp(h, \theta^\perp)$ 的系数 $a_0^\perp, a_1^\perp, a_2^\perp$ 。在具体求解时,认为不同方向的块金值和基台值是一致的,即 $a_0 = a_0^\perp, a_1 = a_1^\perp$,但 $a_2 \neq a_2^\perp$,从而得到各向异性比 $\rho = a_2/a_2^\perp$ 。

考虑地形变化的各向异性,点 (x_i, y_i) 、 (x_k, y_k) 的相对距离为:

$$h_{ik} = \sqrt{[\Delta x \ \Delta y] \begin{bmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi \\ \sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \rho^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi \\ \sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}} \quad (16)$$

式中, $[\Delta x \ \Delta y]$ 表示两点距离矢量, φ 表示各向异性角, ρ 表示各向异性比。根据式(10)~(16),即可求出顾及地形变化各向异性的内插点的估计值。可以看出,当 $\rho = 1, \varphi = 0$,式(16)就变为式(15),即不考虑各向异性时的两点相对间隔。

2 实验与分析

2.1 实验数据

选择南海3块潮滩区域作为实验区,区域内分别有两种不同源数据,见表1。不同源数据的精度指标(标准差)根据§1.2.2中的方法推估所得。其中,区域1的精度差异较小,区域3的精度差异最大,不同源数据分布均匀。利用某次测量刚好扫过这些交界区域的单波束数据,选取结构合理、分布均匀的测深点作为检查点。

表1 实验数据信息

Tab. 1 Experimental Data Information

实验区域	数据	数据来源	测量时间	比例尺	数据精度 δ_i/m		检查点数量
					δ_{Hi}	δ_{Vi}	
1	M_{11}	测深杆实测数据	1999	1: 5 000	5	0.12	22
	M_{12}	单波束测深数据	2003	1: 20 000	15	0.31	
2	M_{21}	单波束测深数据	2006	1: 20 000	10	0.20	30
	M_{22}	单波束测深数据	1996	1: 20 000	25	0.53	
3	M_{11}	单波束测深数据	2006	1: 10 000	10	0.20	35
	M_{12}	海图数字化数据	1999	1: 2 000	40	0.73	

2.2 趋势面模型的适度检验

为了检验本文提出的基于最优等价权的趋势面拟合效果,采用两种方案进行趋势面拟合,并进行对比实验。

方案 1 常规趋势面拟合(normal trend surface fitting,NTSI)。

方案 2 基于最优等价权的趋势面优化拟合(optimize trend surface fitting,OTSI)。

趋势面模型的适度检验指标采用趋势面拟合精度 C 和显著性 F 检验^[2,15],计算公式如下:

$$C = (1 - S_R/S_T) \times 100\% \quad (17)$$

$$F = \frac{S_D/k}{S_R/(n-k-1)} \quad (18)$$

式中, $S_R = \sum_{i=1}^n (z_i - z'_i)^2$ 为残差平方和, $S_D = \sum_{i=1}^n (z'_i - \bar{z}z_i)^2$ 为回归平方和, $S_T = S_R + S_D$ 为总离差平方和, k 为多项式项数(不包括常数项,本文中 $k=5$), n 为数据点个数(本文实验中为高精度数据的个数)。 C 越大,拟合精度越高。在显著水平 α 下,当 $F > F_\alpha(k, n-k-1)$ 时,趋势面显著,否则不显著。本文中 $\alpha=0.05$,查 F 分布表得 $F_{0.05}(5,2)=19.30$ 。表 2 列出了两种趋势面模型的结果。

表 2 趋势面模型的适度检验表

Tab.2 Moderation Test of Trend Surface

方案	区域 1		区域 2		区域 3	
	C	F	C	F	C	F
NTSI	0.946 0	455.13	0.913 7	432.25	0.897 6	382.20
OTSI	0.996 7	6 089.96	0.987 0	6 202.14	0.975 9	4 777.96

由表 2 可见, $C_{OTSI} > C_{NTSI}$,且数据精度差异越大, $\Delta = C_{OTSI} - C_{NTSI}$ 越大。这表明,相比常规的趋势面拟合,基于最优等价权的趋势面拟合方法可以提高拟合精度,且不同源精度差异越大,拟合精度提高得越大。从表 2 还可以看出, F 值均大于 $F_{0.05}(5,2)$,表明拟合的趋势面是显著的。

2.3 IZDEM 建模质量分析

为了检验本文提出的 IZDEM 建模方法的有效性和可靠性,采用 4 种方案进行实验。

方案 1 文献[7-8]提出的改进反距离加权插值法(improved inverse distance weighting,IIDW)。

方案 2 普通克里金插值法(ordinary Kriging,OK)。

方案 3 常规趋势面与克里金插值组合法(normal trend surface and Kriging,NTSI-OK)。

方案 4 趋势面优化与克里金插值组合法(optimize trend surface and Kriging,OTSI-OK)。

采用检查点法进行 IZDEM 精度评估,检查点原始水深值 z_i 与内插水深值 z'_i 进行比较,计算残差绝对值最大值 MAX 和中误差 RMSE。中误差^[22]计算公式如下:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z'_i - z_i)^2} \quad (19)$$

表 3 列出了应用 4 种建模方案构建的 IZDEM 的精度比较结果。

表 3 不同方法的建模精度比较

Tab.3 Precision Comparison of Different Modeling Methods

实验区域	评估指标 /m	建模方案			
		IIDW	OK	NTSF-OK	OTSF-OK
1	MAX	1.63	1.33	1.17	0.96
	RMSE	0.61	0.47	0.54	0.36
2	MAX	1.93	1.65	1.67	1.63
	RMSE	0.93	0.78	0.84	0.61
3	MAX	2.41	2.20	1.92	2.01
	RMSE	1.35	1.34	1.40	0.97

表 3 中,方案 4 与方案 1 对比,最大残差和中误差均明显减小。表明本文所提的建模方法相比文献[7-8]提出的改进反距离加权插值法,可以明显提高建模精度。这是因为反距离加权插值方法易受点集群的影响,在数据密度较小的情况下,会产生明显隆起或凹陷的“牛眼”效应^[9],影响 IZDEM 的建模质量。由于克里金插值法几乎不受邻域中采样点个数的影响,本文所提方法(OTSF-OK)可以避免“牛眼”效应,提高建模精度。

表 3 中,方案 3 与方案 2 对比,方案 3 建模的最大残差和中误差偏大,但相差不多。表明基于地统计学的思想,分别利用趋势面插值和克里金插值法构建地形趋势面与残差面,组合得到最终的 IZDEM 是可行的。与直接利用克里金插值建模方法相比,两者建模精度相差不多。方案 3 建模的中误差偏大的原因可能是由于地形复杂程度不同引起的,这里不作详细讨论。

表 3 中,方案 4 与方案 2、方案 3 对比,最大残差和中误差均明显减小,且不同源数据之间精度差异越大,减小的程度越大。表明趋势面优化与克里金插值组合法(OTSF-OK)同克里金插值(OK)或常规趋势面与克里金插值组合法(NTSF-OK)相比,可以提高建模精度,且不同源数据之间的精度差异越大,精度提高越显著。这是因为本

文优化的趋势面模型通过最优等价权因子减小了不同源数据精度差异对建模精度的影响,得到与潮流地形拟合度更好的趋势面;并且利用克里金插值方法,顾及潮流地形变化各向异性特点,获取了趋势面与实际地面之间的局部地形差异信息,组合之后得到的 IZDEM 提高了整体建模质量。

3 结 语

1) 利用多源潮流数据进行潮流趋势面拟合时,将不同源数据的精度作为内插时权重配赋的因子之一,采用最优等价权同时顾及距离和不同源数据精度差异对整体趋势面拟合的影响,可以提高趋势面拟合的精度,不同源数据精度差异越大,提高的程度越大。

2) 在多源数据情况下,本文提出的基于趋势面优化与克里金插值组合的 IZDEM 建模方法,同时顾及了不同源数据精度差异和潮流地形变化各向异性对建模质量的影响;通过最优等价权减小不同源数据差异对 IZDEM 质量的影响;利用克里金插值法,顾及地形变化的各向异性,获取潮流地形局部变化信息。该方法可以提高 IZDEM 的整体建模精度。

由于本文研究所掌握的数据源有限,更多的数据源还有待于进一步的实验分析。同时,本文没有考虑可能的潮流地形变化对建模精度的影响。另外,不同源数据的精度指标的确定也需要进一步深入研究。

参 考 文 献

- [1] 李志林,朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001
- [2] 汤国安,刘学军,闫国年. 数字高程模型及地形分析的原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2005
- [3] 王春,刘学军,汤国安,等. 格网 DEM 地形模拟的形态保真度研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(2): 146-149
- [4] Wackernagel H. Multivariate Geostatistics: An Introduction with Application [M]. Berlin: Springer Verlag, 2003: 416-429
- [5] 殷晓冬,胡家升,张立华,等. 海岸带多源数据三维无缝拼接技术[J]. 大连海事大学学报, 2008, 34(2): 19-23
- [6] 陈轶,彭认灿,张立华,等. 一种顾及各向异性的数字水深模型插值方法[J]. 海洋测绘, 2011, 31(5): 31-33
- [7] 张立华,贾帅东. 顾及不确定度的数字水深模型内插方法[J]. 测绘学报, 2011, 40(3): 359-365
- [8] 吴超. 水深不确定度评定及应用研究[D]. 大连: 海军大连舰艇学院, 2009
- [9] 邹永刚,翟京生,刘雁春,等. 利用不确定度的海底数字高程模型构建[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2011, 36(8): 964-968
- [10] Johns K H. A Comparison of Algorithms Used to Compute Hill Slope as a Property of the DEM[J]. Computer and Geosciences, 1998, 24(4): 315-323
- [11] Smith S. The Navigation Surface: A Multipurpose Bathymetric Database[D]. Durham: University of New Hampshire, 2003
- [12] Dean G, Wilson R. Development of A Seamless Bathymetric/Topographic Elevation Model of Tampa bay[J]. Marine Technology Society Journal, 2001, 35(4): 58-64
- [13] 张菊清,刘平芝. 抗差趋势面与正交多面函数结合拟合 DEM 数据[J]. 测绘学报, 2008, 37(4): 526-530
- [14] 张宏,温永宁,刘爱利. 地理信息系统算法基础[M]. 北京: 科学出版社, 2006
- [15] 葛永慧,康志军. 加权移动趋势面拟合[J]. 工程图学学报, 2008, (2): 110-114
- [16] 潘攀,王光霞,张华. DEM 建模方法的研究与实践[J]. 测绘科学技术学报, 2007, 24(1): 57-60
- [17] IHO. S-44 IHO Standards for Hydrographic Surveys[S]. Monaco: International Hydrographic Bureau, 2008
- [18] 张仁铎. 空间变异理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005
- [19] 刘承香,阮双琛,伍小芹. 基于 Kriging 插值的数字地图生成算法研究[J]. 深圳大学学报(理工版), 2004, 21(4): 295-300
- [20] 张旭臣,卢全海. 空间变异函数的数学模型及参数反演[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(18): 4 370-4 374
- [21] 王厚祥,李进杰. 海图制图综合[M]. 北京: 测绘出版社, 1999
- [22] 吴艳兰,胡海,胡鹏,等. 数字高程模型误差及其评价的问题综述[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2011, 36(5): 568-572

第一作者简介: 李宁, 博士生, 主要从事数字海图和海洋地理信息工程研究。
E-mail: lining1986121@163.com

An Improved Method for DEM Construction in Intertidal Zones

LI Ning^{1,2} TIAN Zhen^{1,2} ZHANG Lihua^{1,2} PENG Rencan^{1,2}

(1 Department of Hydrography and Cartography, Dalian Naval Academy, 667 Jiefang Road, Dalian 116018, China)

(2 Key Laboratory of Hydrographic Surveying and Mapping of PLA, Dalian Naval Academy, 667 Jiefang Road, Dalian 116018, China)

Abstract: Aiming at the characteristic of multi-data and evident anisotropy of DEM Construction in intertidal zones (IZDEM), a new method based on combining optimal trend surface and Kriging interpolation is proposed. First, an optimal trend surface is obtained using an optimal equivalent weight to control the influence of precision difference between different source data to the quality of IZDEM. Then, corresponding residuals surface is constructed by kriging interpolation to recapture finer details lost from smoothing. IZDEM is constructed by combining optimal trend surface and residuals surface. Experimental results demonstrate that the proposed method has improved the quality of IZDEM.

Key words: intertidal zone DEM; trend surface optimization; Kriging; multi-data; anisotropy

About the first author: LI Ning, Ph. D candidate, majors in digital charting and oceanic GIS.

E-mail: lining1986121@163.com

(上接第 1166 页)

[11] Gupta L, Sortrakul T. A Gaussian-mixture-based Image Segmentation Algorithm[J]. Pattern Recognition, 1998, 31(3):315-325

uation[J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13(1):146-165

[12] Sezgin M, Sankur B. Survey Over Image Thresholding Techniques and Quantitative Performance Eval-

第一作者简介:许凯,讲师,博士后,研究方向为遥感图像处理。
E-mail: xukai_cug@163.com

Cloud Transformation Method Based on Gaussian Mixed Model and Its Application to Image Segmentation

XU Kai¹ QIN Kun² LIU Xiuguo¹ LI Dengchao¹

(1 Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, 388 Lumo Road, Wuhan 430074, China)

(2 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: This paper proposes a new cloud transformation method in order to improve the traditional cloud transformation which cannot deal with multidimensional data. EM algorithm and fitting error of Gaussian mixed model are used to extract cloud concepts which are expressed by the digital characteristics. Image segmentation is realized by the improved method. The image segmentation experiments are used to compare the proposed method with traditional methods. The comparison experiments validate the proposed method.

Key words: cloud transformation; Gaussian mixed model; cloud model; image segmentation

About the first author: XU Kai, lecturer, postdoctor, majors in remote sensing image processing.

E-mail: xukai_cug@163.com