

航带和区域插值方式对断面测量中噪点的处理

白洪炉¹, 邢承滨^{2,3}, 宫广新¹(1. 沧州港务集团有限公司, 河北 沧州 061113; 2. 天津水运工程勘察设计院有限公司, 天津 300456;
3. 交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津 300456)

摘要: 单波束和多波束是水深测量中的常用手段, 用来获取水下地形地貌。航道水深测量是航道维护, 保障船舶通行的重要手段。当前航道水深测量采用航带式测量方式, 主要对航道进行水深断面测量。通常单波束在进行航道水深测量中, 会与周围船舶近距离接触。过往船舶航行过程中产生的气泡会对单波束探测造成噪点, 从而影响测量水深值的精确度。对于航带过程中个别噪点, 本文采用区域插值方式和条带插值方式进行统计, 并且与实测水深的复测, 从而判断最佳的插值方式和定权方式。

关键词: 噪点; 航带; 移动曲面; 定权

中图分类号: P229.3

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2022) 01—0144—03

当前对于水深测量, 主要采用的方法有单波束测深仪、多波束测深仪、激光雷达等测量手段。单波束测深仪因其操作简便, 易于携带, 数据易处理, 并且效果好, 因此广泛应用于水深测量中^[1-3]。在对港口进行水深测量中, 搭载单波束仪器的测量船在穿越航道测量过程中, 航道通行船舶航行过程中搅动巨大气泡, 声纳系统遇到气泡返回波束, 未能到达水底, 气泡对于声纳系统测量造成噪点误差^[4-6]。当前消除噪点误差的方式是根据噪点周围的水深值对噪点进行人工平滑。

本文对于航道水深测量中噪点进行探测和插值处理, 插值方法包含区域范围的移动曲面方式和航带范围的反距离加权方式插值方式, 并且采用多种定权方式进行最佳权值确定。

1 噪点的探测

本文提出一种基于角度阈值判断噪点方法, 利用测线噪点附近相邻点角度阈值检验。本文提出利用航带角度阈值判断噪点。角度阈值判断原理为航带测量中, 由于噪点未到水底, 噪点水深值明显变浅。通常利用航迹中角度阈值判断跳点位置。由于港口断面中心为主航道, 两侧为小船航道, 为保证通行安全, 通常主航道为满足货船通航顺利, 水深值最深, 小船航道较深, 两侧浅滩较浅, 但是靠近码头泊位的水深较深, 为满足船舶停靠。图1为阈值方式判断噪声点, 主要依据前后角度 θ_1 、 θ_2 都大于 0 , 并且因过往船舶航行造成跳点在3-7米左右, 依据航道视航水深20-30米, 例如1:3000的水深图, 采用间隔20米。

$$\tan \theta = \frac{\Delta H}{nl} \quad (1)$$

ΔH 为与跳点临近水深点的高差, n 为噪点个数, l 为水深采样点的间距, 与测图比例尺有关。本文探索一种科学的插值方式代替人工平滑。本文主要从两种方式进行插值处理: 一是利用测量过程中航线进行插值处理; 二是利用噪点周围一定区域内数据进行插值处理。

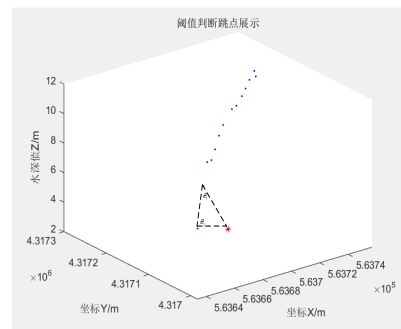


图1 角度阈值方式判断跳点

2 插值方法

2.1 算法原理

航带法和区域法有着共同的原理, 都是利用区域内真实水深值拟合地形, 利用噪点平面坐标内插处该点拟合水深值, 拟合水深值与周围地形有着密切联系。

构建高程值 Z 与平面坐标 X 、 Y 的对应关系, $a-f$ 为方程系数, 即为待求解参数。

$$Z = aX^2 + bY^2 + cXY + dX + eY + f \quad (2)$$

利用最小二次方程求解未知数参数 $a-f$ 。构建观测值方程:

建立误差方程, l_i 为观测值与近似值插值, 利用最

小二乘原理 $v^T pv = \min$ ，求解方程系数最佳值，其中 A 为观测方程：

$$\hat{x} = (A^T P A)^{-1} A^T P l$$

$$A = \begin{bmatrix} x_1^2 & y_1^2 & x_1 y_1 & x_1 & y_1 & 1 \\ x_2^2 & y_2^2 & x_2 y_2 & x_2 & y_2 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 1 \\ x_n^2 & y_n^2 & x_n y_n & x_n & y_n & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

2.2 航带法与区域法插值特点

2.2.1 航带法

航带法主要利用航道断面线，利用断面测量中航线进行拟合，对于存在的噪点进行判断和筛选。利用航道线其他常规点进行曲线拟合，将噪点平面坐标带入拟合曲线，计算出噪点坐标的拟合值。

2.2.2 航带法定权

由 2.1 原理中可知，对于权阵 P 的确定，航带法主要依据航带上其他常规点与噪点的水平距离定权。因此定权方法本文采用反距离加权方法。加权函数为：

$$p_i = \frac{h_i^{-n}}{\sum_{j=1}^n h_j^{-n}} \quad (4)$$

p_i 通常取 2， h_i 是离散点到插值点的距离。

2.2.3 区域插值算法

不同于航带法，区域插值方法利用噪声点所在区域，利用区域内的数据点进行曲面拟合，本文基于数据点的遍历，采用移动曲面插值算法。移动曲面算法广泛应用于插值处理中，对于 DEM 的内插使用非常广泛，设计水域，LiDAR 等多个领域^[7-10]。

移动曲面算法原理在半径为 R 的搜索范围内，利用半径内种子点进行插值处理。

2.2.4 区域法定权

移动曲面法采用三种定权方式：

表 1 移动曲面定权方式

方法	方法一	方法二	方法三
定权方式	$p_i = \frac{1}{d_i^2}$	$p_i = \left(\frac{R-d_i}{d_i}\right)^2$	$p_i = e^{-\frac{d_i^2}{k^2}}$

方法一为定权利用距离平方的反比；方法二为定权利用搜索半径与距离差再比值距离，比值结果的平方；方法三是指数函数，其中 K 为常数，根据不同方式定义不同取值。

2.2.5 算法流程

本文算法原理和流程如图 2 所示：

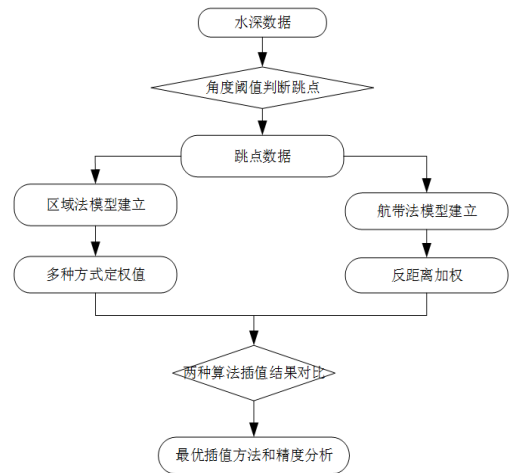


图 2 本文算法流程图

3 实验分析

本次实验数据采用某人工港口常规维护数据，挑选出存在误差点数的区域，共九组样本 135 个跳点，因数据量大难以表述，对于九组样本随机抽取 17 个跳点进行表述，如表 2 统计了跳点的位置与真实坐标和拟合坐标，真实坐标来源于无跳点航线常规数据处理，统计 17 组数据的中误差，判断插值精度^[11-12]。

表 2 区域法和航带法算法插值精度对比 (m)

数据统计	样本	航带法	权一	权二	权三	点号	坐标 X	坐标 Y	真值 Z
数据集 1	样本一	10.26947	10.49738	10.44525	12.58626	8(12)	563410.968	4317256.655	10.5
	样本二	9.903192	10.33935	10.30722	10.35976	8(13)	563473.39	4317205.239	10.3
数据集 2	样本一	12.38248	14.44027	13.94293	12.58626	22(22)	564395.782	4316816.617	13.4
	样本二	11.35385	13.10613	13.19939	10.35976	52(23)	564427.797	4316985.39	13.2
数据集 3	样本一	11.32612	10.78949	10.83679	12.02817	19(31)	565054.669	4316734.086	10.8
	样本二	12.349	11.20155	11.177	13.40121	17(32)	565145.548	4316640.838	10.9
数据集 4	样本一	16.53019	16.73669	16.64179	12.02817	25(42)	565830.53	4316285.073	16.8
	样本二	16.1773	17.55638	17.08856	13.40121	26(43)	565775.137	4316320.195	16.5
数据集 5	样本一	16.66476	17.90685	17.93496	20.76423	21(52)	566889.086	4315841.714	18.1
	样本二	16.89235	18.01244	18.05622	17.9918	20(53)	566640.146	4315984.753	18.4
数据集 6	样本一	14.83064	15.23661	15.29063	17.9918	35(62)	570797.591	4315359.378	15.2
	样本二	14.59399	15.89294	15.64587	15.59105	32(63)	570407.34	4315454.091	15.7
数据集 7	样本一	14.89748	15.92603	15.89018	14.06368	32(72)	570746.454	4315409.263	15.5
	样本二	15.89243	16.34387	16.38443	15.19382	25(82)	567878.168	4317896.365	16.4
数据集 8	样本一	16.05523	16.18514	16.17738	16.22711	26(83)	567805.364	4318321.448	16.3
	样本二	15.70084	15.81202	15.29336	15.66463	23(102)	567515.986	4319203.059	16.1
数据集 9	样本一	15.80257	16.06598	12.30635	16.04969	21(103)	567482.004	4319172.797	15.8
	样本二								

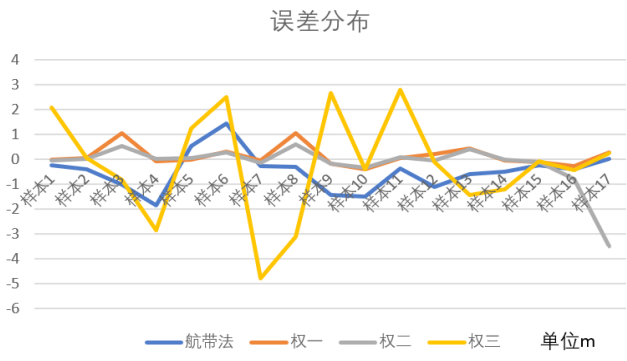


图3 四类算法对于样本数据的误差分布

通过移动曲面三种定权方式，第三种定权方式会存在粗差情况。方法一和方法二定权方式能取得较为稳定的插值结果。移动曲面利用半径范围内点的存在，进行区域内拟合，与噪点距离越近应赋予较大权重，距离较远，应赋予较小权重，权重与距离应呈现反比的状态，方式一二均满足条件。由图3显示，方法一的定权方式与方法二相比，误差曲线更加平滑，与真值差异较小，呈现更加稳健的插值结果。

条带法不同于移动曲面，条带方法拟合为航道断面模型，拟合出的是航道断面。航带法也可以取得较好的插值效果。航道反距离插值算法相对较为稳健，但是航道线需要足够的点来进行拟合，少量缺失点能够拟合出较好结果。如果同一断面存在多个噪点，因此不能获取有效插值结果。不同于移动曲面方法可以半径逐步增加搜寻范围寻找相关点，航带法呈现条带状，有效点有限，过多噪点或者缺失点，造成测量精度降低。

4 结论

本文通过对于四种方式进行计算统计，发现方式一的移动曲面算法可以获取最佳的拟合效果，其次为条带反距离的航带法插值，方式二的移动曲面与半径R相关性太强，但是对于半径R的确定需要人工进行判断，增加计算的工作强度。

本文提出的角度阈值检验方法可以快速确定跳点位置。在利用方式一的移动曲面插值方式对跳点进行插值处理，可以较大精度解决跳点问题，为今后处理跳点提供了新的思路。

参考文献：

[1] 龚剑. 基于单波束水深测量质量控制及优化的应用研究 [J]. 城市建设理论研究 2020(12):63-64.

[2] 高耿明. 多波束测深系统性能测试及其在疏浚工程中的应用 [J]. 测绘通报, 2007(06):29-32.

[3] 丁仕军, 祝明然. 融合新型多技术的陆海过渡带地形测绘 [J]. 测绘通报, 2020(10):79-84.

[4] 邢承滨, 龚声胜, 于晓亮等. 高斯混合聚类对移动曲面拟合滤波分类的应用 [J]. 红外与激光工程:1-11.

[5] 黄长军, 夏红梅, 周吕. 一种改进的移动曲面拟合DEM插值方法 [J]. 测绘科学技术学报, 2018,35(03):285-290+297.

[6] 王越, 彭清山, 谭仁春, 卢丹丹. 基于移动曲面拟合的机载LiDAR海底点云滤波方法 [J]. 地理空间信息, 2018,16(06):21-23.

[7] 裴书玉, 杜宁, 王莉, 等. 基于移动最小二乘法估计的建筑物点云特征提取 [J]. 测绘通报, 2018(04):73-77.

[8] 袁浩, 贾帅东, 张立华, 等. 风浪对众包测深数据的精度影响分析 [J]. 海洋测绘, 2020,40(06):34-38.

[9] 刘洋, 吴自银, 赵获能, 等. M多源测深数据融合方法及大洋水深模型构建 [J]. 测绘学报, 2019,48(09):1171-1181.

[10] 库安邦, 周兴华, 王方旗, 等. 一种联合单波束测深的侧扫声呐海底线提取方法 [J]. 海洋通报, 2019,38(01):47-52.

[11] 陈长波, 刘小丁, 朱紫阳, 周昆. 单波束测深数据的插值精度分析 [J]. 测绘通报, 2017(03):67-70.

[12] 高慕帅. 单波束测深的误差来源与质量控制 [J]. 现代信息技术, 2020,4(22):33-35.

基金项目：天津水运工程勘察设计院科技研发项目（SJY20200301）。

