

海底数字地形模型的空间不确定性分析

孟婵媛¹, 王 晖², 李明辉², 邹永刚¹

(1. 海军海洋测绘研究所, 天津 300061; 2. 海军出版社, 天津 300450)

摘要: 分析了格网海底数字地形模型(DTM)对真实海底表达所带来的精度损失, 提出了海底DTM的“浅点扩展”原则。试验证明, “浅点扩展”原则能够较好地保证DTM对海底浅点的表达, 提高对海底真实地形的表达精度。

关键词: 数字地形模型; 浅点扩展; 精度损失; 海底地形

中图分类号: P208

文献标识码: B

文章编号: 1671-3044(2011)03-0031-03

1 引言

长久以来, 关于数字高程模型精度的研究主要集中于陆地数字高程模型, 对于海底数字地形模型(digital terrain model, DTM)的研究比较少。海底数字地形模型与陆地数字高程模型最大的不同在于对海底浅点(陆地数字高程模型对应为山顶)的要求。《GB 数字测绘产品质量要求》^[1]中对特殊比例尺的数字高程模型的平面精度和高程精度做了规定, 并没有对山顶做出特别要求, 其高程可以在一定范围内上下浮动。在制作海图时, 为保证航海安全, 要求保留海底浅点的水深值, 图载水深不能大于实际水深。海底格网DTM对海底浅点的表达往往深度大于实际水深。本文从地形表面格网化导致的精度损失等方面对海底数字地形模型的不确定性进行了分析, 并提出了海底数字地形模型的“浅点扩展”原则, 以提高海底DTM的精度, 保证航海安全。

2 地形表面的格网线性表达导致的精度损失

在利用DTM表达海底地形时, 一般利用线性表达格网节点之间的海底水深, 这样就会出现DTM与真实海底的误差。参考文献[2]对陆地数字高程模型的描述, 可以将格网线性表达的误差极值分为3种情况^[2]。

2.1 水深精度损失

第1种情况显示了由于断裂线或其他地理结构导致的坡度突变引起的误差极限。这种误差的值 E_b 随着地形特征本身的性质而变化, 因而不能通过分析的方法估计, 只能通过量测得到。 E_b 适用于横跨断裂地形结构的格网。实际上, E_b 极少出现, 即使出现, 也以正常方式处理。

第2种情况显示了不包含特征数据的格网结点在不同位置对地形线性表达可能导致的最大误差 E_r 。这个误差的出现是由于没有选择局部最浅或最深值, 或者是由于没有量测特征点与沿特征线上的点而引起的。 E_r 位于山顶点, 此时 E_r 的最大可能误差 $E_{r,max}$ 为:

$$E_{r,max} = CB = \frac{d \tan \beta}{2} \quad (1)$$

第3种情况显示了含有特征点的凸形坡面上格网数据所产生的误差。这个图形并不包含凸形和凹形坡面上的所有点, 因为即使在那种为模拟地面测量而在立体模型上进行纯粹的选择采样的情况下, 要采集所有的凸点和凹点也是太不可能的。此时 E_c 的最大可能误差 $E_{c,max}$ 为:

$$E_{c,max} = CB = \frac{d \tan \beta}{4} \quad (2)$$

2.2 水平位置精度损失

地形断裂结构和含有特征点的凸形坡面这两种情况虽然在高程误差上不一样, 但是在水平位置的精度损失可以归为一类。水平误差最大可以接近格网间距, 但不能达到, 即:

$$E_{c-H,max} < d \quad (3)$$

第2种情况, 当格网结点位于格网中心时, 水平误差最大为格网间距的一半, 即:

$$E_{r-H,max} = \frac{d}{2} \quad (4)$$

2.3 海底地形表面 E_{max} 的实际考虑

对于规则格网数据来说, 这两种情况都是存在的, 又因为 $E_{r,max} = 2E_{c,max}$, 所以只需要讨论 $E_{r,max}$ 的值即可以得到整个区域内由于格网间距线性表达造成的最大误差。

在(1)式中, d 表示格网间距,是已知的, β 表示坡度角,是未知的。可以说 $E_{r,\max}$ 取决于 β 的大小。如图1所示,其中, A 、 B 、 D 点分别为格网结点 A' 、 B' 、 D' 对应的地形表面点, A' 、 B' 和 B' 、 D' 分别相邻。由于海底是连续变化的,相邻格网结点变化规律近似。因此,可认为 B 点处的坡度 β 与 D 点处的坡度 β_0 近似相等,可以相互替代。有:

$$E_{r,\max} = \frac{d \tan \beta_0}{2} \quad (5)$$

表1是不同格网间距对应不同坡度角时得到的 $E_{r,\max}$ 值。从中可以看出,不同的坡度角对应不同的极限高程差值,即使在格网间距为1m, $\beta_0 = 30^\circ$ 的情况下,极限高程差值也会达到0.289m。若要想极限

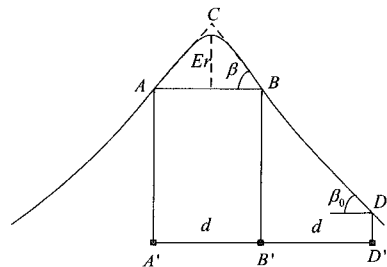


图1 不包含特征数据的格网结点地形线性表达可能导致的最大误差

表1 不同格网间距和坡度角时的 $E_{r,\max}$ 值

单位:m

$d \beta_0$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
60°	0.866	1.732	2.598	3.464	4.33	5.196	6.062	6.928	7.794	8.66
45°	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
30°	0.289	0.577	0.866	1.155	1.443	1.732	2.021	2.309	2.598	2.887

3 海底地形的“浅点扩展”

在海洋测量中,一个重要的目的是为了保证航海安全,即对海底浅点非常重视,需要知道其水平位置和水深值,格网对海底地形表达的极限损失也发生在海底浅点情况下。对于这种情况,为了确保海底浅点能够得到保留,本文提出了海底“浅点扩展”原则。具体方法如下:

- (1) 利用测量数据构建海底DTM;
- (2) 找出测量海底浅点在格网中的位置;

(3) 如图2(a)所示,如果海底浅点 c 位于格网结点 A 、 B 之间,将 c 的水深值赋予 A 、 B ,这样,浅点的范围由一个点扩展到长度为格网间距 d 的线,其等深线图如图2(b)所示;如果海底浅点 c 位于四个格网结点 A 、 B 、 C 、 D 之间,如图3(a)所示,则将 c 的水深值赋予 A 、 B 、 C 、 D 四个点。这样,浅点的范围扩展为以格网间距 d 为边长的矩形,如图3(b)所示。扩展后这些点的水平不确定度为零,垂直不确定度等同于 c 点的垂直不确定度。

经过“浅点扩展”,海底浅点的水深值得以保留,不会出现浅点被“削平”的现象,从而使 $E_{r,\max}$ 为零。但是“浅点扩展”使得浅点的范围扩大,由点扩展为以格网间距 d 为单位的线或面,是一种人为的失真。若格网间距过大,必然会造成失真过大,不但影响海底DTM的精度,也会造成海底地形分析上误差。比如,在航道边上的浅点范围估算过大就会影响航道的利用效率。因此,需要对格网间距进行控制。

对于特等测量区域(水深一般小于40m),其水平不确定度为2m,即水深浅点的真实位置在以其测量位置为圆心,2m为半径的圆的范围之内都认为是合格的。因此,当格网间距不大于2m时,对浅点进行范围扩展,都可以看作是在水深浅点的真实范围之内,符合规范要求的精度。同理,可以得到对于“浅点扩展”,1等测量区域内格网间距不大于10m是合理的,2等测量区域内格网间距至少可以为30m或者更多。因此,可以将THU最大限差作为格网间距的选取标准。

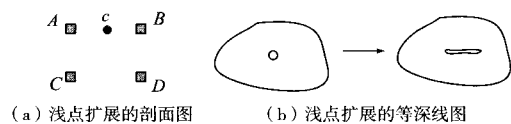


图2 浅点在两个格网结点之间的浅点扩展

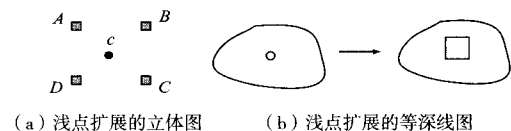


图3 浅点在四个格网结点之间的浅点扩展

4 算例

利用数学多波束测深系统测量对仿真海底进行测量,然后利用测深数据构建海底DTM,比较真实海底与DTM的差异,并对DTM的空间不确定性进行分析。数学多波束测深系统为Seabat 8101多波束测深系统,船速10kn,发射频率为10Hz;用Peak函数仿真海底地形,

最大水深 46.5m,最小水深 31.9m,平均水深约为 40m,测区面积为 20 000m²。布设 2 条测线,每个条带有 84ping 测深数据,一共 16 000 多个测量水深点。

利用得到的测深数据构建海底 DTM,格网间距为 4m×4m,采用距离反比加权方法插值得到格网点水深。利用文献[4]中的不确定度计算模型得到每个测深点的垂直不确定度,并归算到格网点上。在海底地形上选择 3 个海底浅点,其中点 1 为最浅点,点 2、3 为次浅点,如图 4 所示。利用“浅点扩展”原则对 3 个浅点进行处理,得到的结果如图 5 和表 3 所示。

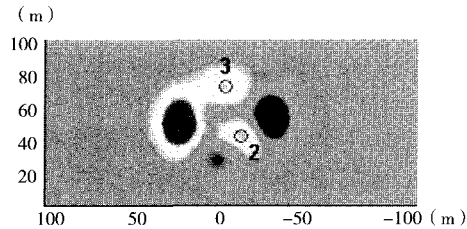


图 4 选取的水深浅点

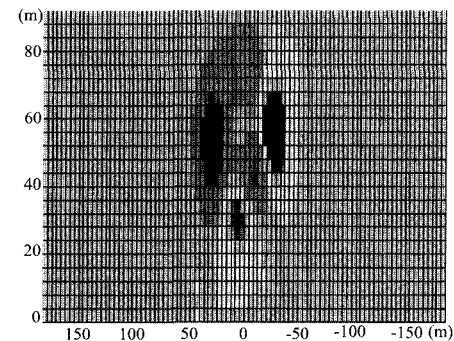


图 5 “浅点扩展”后的 DTM

表 3	“浅点扩展”后的浅点属性			单位:m
	浅点 1	浅点 2	浅点 3	RMSE
真实海底水深	31.907	36.225	36.412	—
原 DTM 水深	32.203	36.48	36.474	0.1213
“浅点扩展”后水深	31.858	36.199	36.384	0.1213
垂直不确定度	0.09	0.202	0.169	—

结果分析:表 3 中 DTM 的水深值在浅点普遍大于真实水深值,相差最大的点为 1 号浅点,约为 0.3m。2 号浅点和 3 号浅点的水深相差不大,约 0.2m,但 DTM 中二者水深基本相同,相差不到 0.01m,导致出现这样情况的主要原因在于位置不同,多波束系统测量导致的测深误差不同。

经“浅点扩展”后,DTM 水深值比真实水深值要浅,分别为 0.05m、0.02m 和 0.03m,都在不确定度所涵盖的范围之内。说明经过“浅点扩展”之后,能够很好的保证浅点水深值小于真实水深值,保证航海安全,并

提供准确的不确定度信息。1 号浅点和 2 号浅点的测量水平位置位于格网中间,故其区域扩展在图 5 中为一个格网平面,3 号浅点位于两个格网点之间,其区域为一条线。另外,比较“浅点扩展”前后 DTM 的均方差值,说明“浅点扩展”对均方差值的影响是非常轻微的,可以有效地提高海底 DTM 对真实地形的表达精度。

5 结束语

本文对海底 DTM 的空间不确定性进行了分析,指出在数据格网化的过程中,会将真实的海底浅点“削平”,从而影响到航海安全以及 DTM 对海底的表达精度。通过对格网表达海底极限误差的分析,提出了海底格网的“浅点扩展”原则。根据 IHO S-44海道测量标准的规定,将测量浅点水深值扩展到水平不确定度范围内的格网中,能够确保浅点水深值不大于实际水深,且二者的差值在不确定度范围之内,不但保证了航海安全,还大大提高了海底 DTM 对真实海底地形的表达精度。

参考文献:

[1] 数字测绘产品质量要求 第 1 部分:数字线划地形图、数字高程模型质量要求[S]. 国家质量技术监督局,2000.

[2] 李志林,朱 庆. 数字高程模型[M]. 武汉:武汉大学出版社,2008.

[3] IHO. IHO Standards for Hydrographic Surveys[S]. S-44, 5th Edition. Monaco: International Hydrographic Bureau. 2008.

[4] Hare R. Depth and position error budgets for multibeam echosounding[J]. International Hydrographic Review. 1995 LXXII(2):37-69.

[5] 陈 楠,林宗坚,汤国安,等. 数字高程模型的空间信息不确定性分析[J]. 测绘通报,2005(11):14-17.

[6] 史文中. 空间数据与空间分析不确定性原理[M]. 北京:科学出版社,2005.

[7] 王中宇,刘智敏,夏新涛,等. 测量误差与不确定度评定[M]. 北京:科学出版社,2008. 4-6.

[8] 李金海. 误差理论与测量不确定度评定[M]. 北京:中国计量出版社,2003. 1-2.

[9] 刘大杰,刘 春. GIS 空间数据不确定性与质量控制的研究现状[J]. 测绘工程,2001,10(1):6-10.

[10] 张海荣. GIS 中数据不确定性研究综述[J]. 徐州师范大学学报·自然科学版,2001,19(4):66-68.

[11] 胡圣武,王新洲,陶本藻,等. GIS 不确定性的基本理论及需解决的问题[J]. 测绘科学,2007(3):15-17.

[12] 肖雁峰. DEM 质量检查与精度评定研究[D]. 西南交通大学,2008. 20-21.

(下转第 36 页)

好的应用前景。全球海量纹理金字塔数据是全球三维可视化系统建立的数据基础,本文研究的内容主要是利用高斯-克吕格投影正反解算法和影像插值算法,设计并实现了一种纹理投影变形纠正算法,解决了构建全球纹理金字塔中普通 UTM 中位图的投影变形问题,大大提高了金字塔纹理在全球三维可视化系统中的绘制效果和显示位置的准确性,纠正软件实现上通用标准化接口使得计算模型易于升级、维护及重复应用。本文的研究成果主要应用于全球三维可视化系统中的海量地形数据入库分系统的一个模块,消除由于摄像机导致的数字图像的几何变畸变,为海量纹理数据入库提供支持。

参考文献:

- [1] 高 俊,夏运钧,游 雄,等. 虚拟现实在战场环境仿真中的应用[M]. 北京:解放军出版社,1999.
- [2] 万 刚. 虚拟地理环境的构建理论与技术研究[D]. 郑州:解放军信息工程大学测绘学院,2006.
- [3] 陈 刚. 虚拟地形环境的层次描述与实时渲染技术研究[D]. 郑州:解放军信息工程大学测绘学院,2000.
- [4] 莫 凡. 虚拟地理环境中地表纹理的研究与实践[D]. 郑州:解放军信息工程大学测绘学院,2004.
- [5] 王家耀,孙 群,王光霞,等. 地图学[M]. 郑州:解放军信息工程大学测绘学院出版社,2003.
- [6] 游 雄,等. 战场环境仿真[M]. 郑州:解放军信息工程大学测绘学院出版社,2006.
- [7] 李春雨. 计算机图形学理论与实践[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2004.
- [8] 夏 青. 战场可视化及应用原型研究[D]. 郑州:解放军信息工程大学测绘学院,2001.
- [9] 杜 莹. 全球多分辨率虚拟地形环境关键技术的研究[D]. 郑州:解放军信息工程大学测绘学院,2005.
- [10] 武玉国. Virtual GIS 若干关键技术研究[D]. 郑州:解放军信息工程大学测绘学院,2009.

Research of Projection Distortion Collecting in Building Global Texture Pyramid Model

YUE Li-qun, XIA Qing, YOU Xiong

(Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou, Henan, 450052)

Abstract: Based on the research of Gauss-Kruger projection and Mercator projection, we design and implement an algorithm of image collecting, then we solve the distortion problem of bmp projection in the course of building global, the algorithm greatly improves the rendering effect and displaying position veracity of the pyramid texture in global 3D visualization system, the production mostly applies to the storage of global massive texture data.

Key words: map projection; global texture pyramid; projection distortion collecting

(上接第 33 页)

Space Uncertainty Analyze of Submarine Digital Terrain Model

MENG Chan-yuan¹, WANG Hui², LI Ming-hui², ZOU Yong-gang¹

(1. Naval Institute of Hydrographic Surveying and Charting, Tianjin, 300061;

2. Navy Press, Tianjin, 300450)

Abstract: The precision loss of grid submarine digital terrain model to real marine topography is discussed, a new “shallow extend” principle of submarine DTM is put forward. It's proved that this principle can ensure the expression of submarine shallow preferably and improve the precision.

Key words: digital terrain model; shallow extend; precision loss; submarine topography