

基于地形特征点和小比例尺地形图的大比例尺成图技术

龙四春^{1,2}, 聂光裕^{2,3}, 张立亚^{1,2}, 李黎^{1,2}, 胡艳冬²

(1. 湖南科技大学 煤炭资源清洁利用与矿山环境保护湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学 测量工程与形变监测研究所, 湖南 湘潭 411201;

3. 桂林理工大学测绘地理信息学院, 广西 桂林 541004)

摘要:针对等高线绘制需要大量高程点数据以及植被覆盖地区很难直接量测的特征,提出了一种基于小量实测特征地形点线数据与已有小比例尺地形图等高线的大比例尺地形图等高线的成图方法.选取已有小比例尺地形图的湘潭县山区作为试验区,利用小量实测特征点高程数据控制矫正小比例尺等高线,实验分析其大比例尺成图精度,评价生产的大比例尺地形图实际应用价值.试验证明该地形图成图方法能降低劳动强度,提高测量效率,是一种实用而高效的大比例尺地形图等高线成图方法.

关键词:小比例尺;特征点;等高线;大比例尺

中图分类号:P2 文献标志码:A 文章编号:1672-9102(2014)04-0060-05

Study on large scale mapping method by fusing contour line of small scale topographic maps and topography feature points

LONG Sichun^{1,2}, NIE Guangyu^{2,3}, ZHANG Liya^{1,2}, LI Li^{1,2}, HU Yandong²

(1. Hunan Key Laboratory of Coal Resources Clean - utilization and Mine Environment Protection,

Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Institute of Geomatics and Deformation Monitoring, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

3. College of Geomatics and Geoinformation, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Mapping contour lines requires a large number of elevation points data and it's very difficult to survey the area with vegetation cover. Considering the disadvantages mentioned above, the large scale mapping method was put forward by fusing the contour lines of small scale topographic maps and feature points with CASS mapping software. The mountain area of Xiangtan county, already having its small scale mapping, was chosen as the experimental area. The large scale contour line was adjusted by surveying some elevation data and using the small scale mapping. The precision of fused contour lines were compared and analyzed the practical value of producing large scale mapping by this way. It proves to be reducing the labor intensity and raising the measuring efficiency and it is a practical and efficient large scale mapping method.

Key words: small scale; feature points; contour line; large scale

等高线是地面高程相等的相邻点会集而成的闭合曲线,是表示地貌常用且非常重要的一种方

法,也是大多数地形图的重要组成部分.它不仅能准确、较形象地反映出地表的起伏变化,借助等高

收稿日期:2014-10-06

基金项目:大地测量与地球动力学国家重点实验室基金资助项目(SKLGED2014-5-3-E);国家自然科学基金资助项目(41474014);煤炭资源与环保湖南省重点实验室基金资助项目(E21221)

通信作者:龙四春(1975-),男,博士,副教授,主要从事工程测量和大地测量研究. E-mail: sclong@hust.edu.cn

线还可以解决多种工程问题.在数字化自动成图中,高程点的数据是绘制等高线的主要依据,通过对地面高程点的数据采集,运用数学模型^[1-3]以及内插拟合方法^[4-6]实现等高线的自动生成.但由于地形、地物条件的限制,或所需要地形图对地貌的精度要求不是太高,且山区地形中运用测量仪器有时很难获取到相应的高程点数据.基于此,本文尝试集成小比例尺地形图的等高线,集成小数实测高程数据进行大比例尺地形图等高线的生成.

1 地形图测绘与等高线生成

大比例尺地形图测绘是采集野外实地数据,运用绘图软件描绘出实际地物、并勾绘出实地地貌的工作.

1.1 地形图测绘

在测绘地形图时,对地物测绘的质量主要取决于是否正确合理地选择地物特征点,如房角、道路边线的转折点、河岸线的转折点、电杆的中心点等.主要的特征点应独立测定,一些次要的特征点可采用量距、交会、推平行线等几何作图方法绘出^[7-9].但在地形图的测绘中,除了对地物的量测与绘制外,还需要对地貌进行表达,而地貌勾绘实际上就是等高线的测制过程^[10].

对于不同的比例尺和不同的地形,等高线表达地貌的基本等高距也不同,按规范^[11],部分大比例尺地形图基本等高距可见表1.

表1 部分大比例尺地形图基本等高距

比例尺	等高距/m			
	平地	丘陵地	山地	高山地
1:500	0.5	1.0(0.5)	1.0	1.0
1:1000	0.5(1.0)	1.0	1.0	2.0
1:2000	1.0(0.5)	1.0	2.0(2.5)	2.0(2.5)
1:10000	2.5(1.0)	2.5	2.5(5.0)	2.5(5.0)

1.2 实测地貌勾绘与等高线生成

野外测定的地貌特征点是不规则分布的数据点,通常需要采用三角网法,根据不规则分布的数据点绘制等高线^[10,12].该方法在相邻地形点间,先用内插法定出基本等高线的通过点,再将相邻各高程的点参照实际地貌用光滑曲线进行连接,勾绘出等高线;它能保持数据点的精度,并在构网时容易引入地性线.三角网法直接由不规则数据点连成三角形网,在构成网格或三角形网后,再在网格边或三角形边上进行等高线点位的寻找、等高线点的追踪、等高线的光滑和绘制等高线.

建立三角形网的基本过程是将邻近的3个数据点连接成初始三角形,再以这个三角形的每一条边为基础连接邻近的数据点,组成新的三角形,如此继续下去,直至所有的数据点均已连成三角形为止^[5-8].在建网过程中,要确保三角形网中没有交叉和重复的三角形,以三角形的一边向外扩展时,排除和三角形位于同一侧的数据点,然后在另一侧利用余弦公式(1)找出与扩展边两 endpoint 之间形成的夹角为最大的一个数据点作为组成新三角形的点.

$$\cos C = \frac{(a^2 + b^2 - c^2)}{2ab}. \quad (1)$$

在三角形构网时,若只考虑几何条件,在某些区域可能会出现与实际地形不相符的情况,如在山脊线处可能会出现三角形穿入地下,在山谷线处可能会出现三角形悬空.为此,在构网时引入地性线,并给地性线上的数据点编码,优先连接地性线上的边,然后再在此基础上构网^[9].

在三角形网形成后,需要确定等高线点在三角形边上的位置.首先要判断等高线是否通过某一条边,然后通过线性内插方法求出等高线点的平面位置.设等高线的高程为 z ,只有当 z 值介于边的2个端点高程值之间时,等高线才通过该条边,则等高线通过某一条边的判别可用式(2)表达.

$$\Delta z = (z - z_1) \cdot (z - z_2). \quad (2)$$

当 $\Delta z \leq 0$ 时,则该边上有等高线通过,否则,该边上没有等高线通过.当确定了某条边上有等高线通过后,即可求该边上等高线点的平面位置.

设高程为 z 的等高线点通过三角形边的2个端点的三维坐标分别为 (x_1, y_1, z_1) 和 (x_2, y_2, z_2) ,则等高线点的平面坐标可用式(3)表达.

$$\begin{cases} x_z = x_1 + \frac{x_2 - x_1}{z_2 - z_1}(z - z_1); \\ y_z = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{z_2 - z_1}(z - z_1). \end{cases} \quad (3)$$

再在三角形网上进行等高线点的追踪,获得等高线的有序点列,将这些点作为等高线的特征点保存在文件中.在绘制等高线时,从等高线文件中调出等高线的特征点的坐标,用曲线光滑方法计算相邻两个特征点间的加密点,用短线段逐次连接两点,就能绘制出光滑的等高线.

2 大比例尺等高线生成与精度评定

2.1 大比例尺等高线生成的基本原理及流程

集成小量实测特征高程点,利用小比例尺等高线等高距大的特征,将已有的小比例尺等高线,通

过闭合线性内插,得到满足大比例尺基本等高距的要求.等高线内插^[13-15]的基本原理见图1.若小比例尺基本等高距为3 m,即1,4为基本等高线($H_1 = 63$ m, $H_4 = 66$ m),要想得到大比例尺1 m等高距,也就是要在1,4等高线之间内插2,3两等高线,使得($H_2 = 64$ m, $H_3 = 65$ m).要线性内插出2点的高程,通常过2点作一条大致垂直并相交于相邻等高线1,4的线段 mn ,分别计算出 mn 的长度 d 和 $m2$ 的长度 d_1 ,则2点高程可用基本线性内插模型式(4)表示.

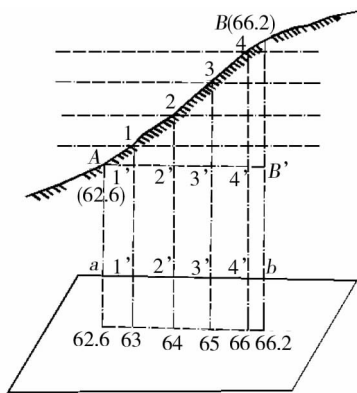


图1 等高线内插原理图

$$H_2 = H_m + h_{m2} = H_m + \frac{d_1}{d}h. \quad (4)$$

集成实测高程点,进行小比例尺等高线内插大比例尺等高线的工作流程如下:1)图层提取,首先在CAD图中提取小比例尺等高线所在的图层;2)尺度缩放,按照大小比例尺的关系,缩放成需要成图比例尺的尺度;3)图形配准,从缩放前后的等高线图上寻找尽量多的实测公共三维高程点(分布尽量均匀)进行有效配准;4)内插等高线,按照上述方法根据等高距比例内插出相应比例尺下的等高距;5)实验验证与精度评定,根据小量的实测高程点和已有小比例尺地图内插出大比例尺下的等高线,按照内插高程点与实测高程精度评定点(基准)之间的差值,用均方根误差和中误差计算内插后高程点的精度.具体内插流程见图2所示.

2.2 实例概况与数据来源

以湘潭县某山区地形成图为例,准备成图比例尺1:500,主要用于县城发展与新农村建设的规划用图.该地区位于湖南省中部偏东,湘江下游西岸,北纬 $27^{\circ}20' \sim 28^{\circ}05'$,东经 $112^{\circ}25' \sim 113^{\circ}03'$;属于丘陵、山地类型,山区有大量植被覆盖、测绘难度较大.测区已有1:10 000比例尺地形图,其基本等高距为5 m.

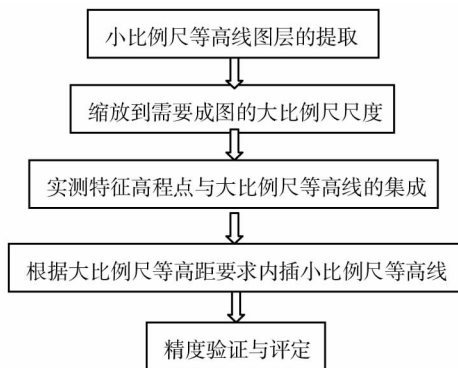


图2 集成实测高程点的大比例尺等高线生产流程

野外数据采集所用仪器有GPS-RTK,全站仪和水准仪;所用成图软件为南方Cass7.0.现试验利用1:10 000比例尺地形图的等高线图层,通过内插得到1:500比例尺1.0 m基本等高距等高线,再结合野外实测的地物点和少量地貌特征点形成1:500地形图.根据以上大比例尺等高线生成方法,得到图3所示的等高线对比图,其中图3(a)表示内插前1:10 000比例尺5 m等高距等高线图,图3(b)表示集成少量实测高程点内插成的1:500比例尺1 m等高距等高线图.

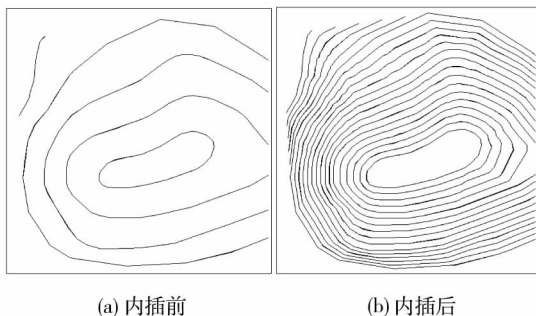


图3 集成内插前后等高距等高线图

2.3 集成实测高程点的等高线内插方法与验证

在实验区,首先通过地貌特征点的数据采集,将采集得到的数据与已有小比例尺地形图等高线导入Cass7.0成图软件,按一定密度提取等高线高程点数据,然后通过内插拟合等方法生成集成实测数据的数字地面模型.图4介绍了4种不同内插拟合修正方法生产的同一区域的等高线.

由图4可见,选择3次B样条拟合方法生成的等高线更具有光滑、美观等特点.但把集成少量实测特征点数据的1:10 000地形图3次B样条拟合内插方法得到的等高线与直接实测法得到的1:500等高线放在同一副图中进行比较,具体见图5.

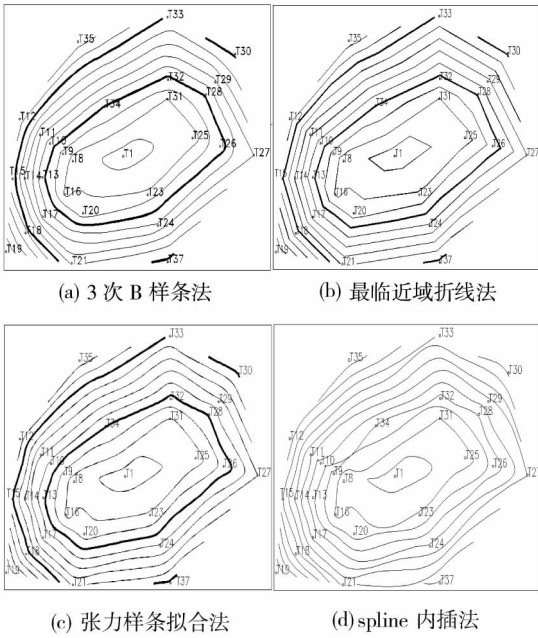


图4 4种不同内插拟合修正方法生产等高线对比

在平坦地区,选取图5地区进行实验,长短条线和短短条线分别代表大比例尺实测法和集成实测特征点数据内插法得到的等高线,可见,采用实测大比例尺法与集成小量实测特征点内插法得到的等高线相近,误差较少.在地形起伏变化较大的区域,选取图6进行实测大比例尺地貌图与集成实测特征点内插成图进行对比,两种方法得到的等高线叠加,可见图6.

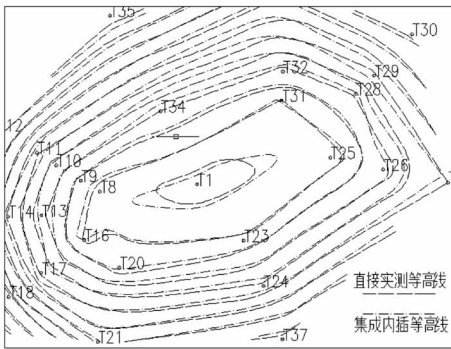


图5 集成内插等高线与直接实测等高线对比图

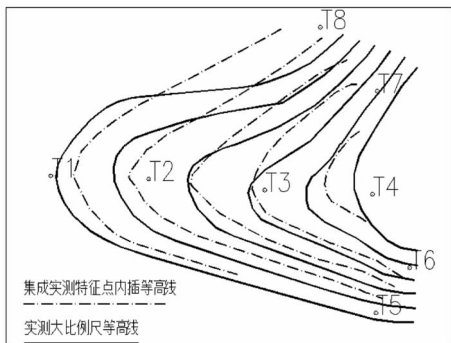


图6 内插法整饰后与集成实测法生成等高线的比较

在图6中,虚线代表集成实测数据生成的等高线,实线代表实测大比例尺地形图成图得到的等高线.从图6可以看出,当等高线平距变化较大时,使用集成小量实测数据的小比例尺内插法得到的等高线不光滑,且与大比例尺实测法生成的等高线存在一定差别.

2.4 精度分析

集成小量实测数据的小比例尺内插得到大比例尺地形图会产生一定的误差,其误差产生的原因主要有:1)不同坐标系转换的影响,例如从独立坐标系转换至国家统一坐标系时会出现不同参考椭球拟合的误差,从而影响集成内插法得到的等高线与实测法生成的等高线的最终结果;2)特征点位置选取不同,集成内插前生成地形图等高线的特征点与实测法生成等高线的特征点位置不一样,导致两者形成的等高线会存在一定的误差;3)点位选取及实测特征点的密度不同,实测高程点密度直接影响着等高线生成精度.评价精度高低的方法有多种,其中均方根误差 RMS 可以用来评价集成实测数据生成的等高线和实测大比例尺地形图得到的等高线对应点位高程的吻合程度.具体计算模型见式(5).

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (H^i_{集成} - H^i_{实测})^2} \quad (5)$$

式中 n 为对比点的个数,括号中的 H 分别代表 i 点通过集成实测特征点小比例尺内插法得到的高程值和实测法得到的高程值.

在图5实验中,共计选取了320个点的高程数据,根据上式(5),得均方根误差 RMS 为 0.186 m.在图7实验中,共计选取了100个点的高程数据,根据上式(5),得均方根误差 RMS 为 0.327 m.由表2可知,1:500比例尺地形图在平地 and 山地等高线内插点高程中误差分别为0.5 m的1/3和1 m的2/3,试验区集成实测数据的插值结果满足上述精度要求.可见,利用小比例尺内插法集成实测数据可以满足大比例尺地形图等高线测绘的精度要求.

表2 加密点和等高线插求点的高程中误差要求

地形类别	基本等高距/m	加密点高程中误差/m	等高线插求点高程中误差/m
平地	0.5	—	≤1/3
丘陵地	0.5	≤±0.18	≤1/2
山地	0.5	≤±0.24	地形变换点≤2/3
山地	1.0	≤±0.50	地形变换点≤2/3
高山地	1.0	≤±0.60	地形变换点≤1

但通过实验区集成少量实测数据的内插法得到的等高线与实测法生成的等高线对比,可以看出,在等高线平距变化规则的地形中,依据集成内插法得到的等高线与实测法生成的等高线接近,误差较少;但是在山谷及高山相邻处等地形中,等高线平距变化趋势大,集成内插法得到的等高线误差有所增加,但只要有适当的特征点实测数据,也能满足大比例尺地形地貌的精度要求。

3 结论

1)提出了一种基于小量实测特征地形点线数据和已有小比例尺地形图等高线的大比例尺地形图等高线的成图方法。

2)误差分析表明,对于在地势平坦地区,使用上述方法,结合已有小比例尺地形图和少量实测高程点数据得到的大比例尺地形图精度满足要求。

3)对于山区地形,则需要更多实测的高程点数据。通过实例应用,验证了该方法的可行性,特别是在植被覆盖密集区,采用该方法的速度和效率均优于全部实测法成图。

参考文献:

- [1] Marc M, Van H, Senior M. Entropy - based kernel mixture modeling for topographic map formation [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2004, 15(4): 850 - 858.
- [2] Fraser S, Hunt R K. Retinotectal specificity: models and experiments in search of a mapping function[J]. Annual Review of Neuroscience, 1980(3): 319 - 52.
- [3] Kohonen T. Self - organized formation of topologically correct feature maps [J]. Biological Cybernetics, 1982(43): 59 - 69.
- [4] 李婷峰,陈性义,赵礼剑,等. 矢量等高线自动内插加密分析[J]. 工程地球物理学报, 2004, 1(2): 182 - 185.
- [5] 杨长强,彭延军,郑永果. 基于直线与B样条曲线求交算法加密等高线图[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(1): 319 - 321.
- [6] Bickel P J, Breiman L. Sums of functions of nearest neighbor distances, moment bounds, limit theorems and a goodness of fit test [J]. Annual Review of Statistics. 1983(11): 185 - 214.
- [7] 中国建筑材料工业地质勘查中心河北总队航测制图室. 利用1:2.0万~1:3.5万比例尺航摄资料测绘1:2千比例尺地形图的试验研究[J]. 建材地质, 1993(1): 30 - 34.
- [8] 张文春,李伟东. 土木工程测量[M]. 北京:中国建筑工程工业出版社, 2004.
- [9] 潘正风,杨正尧,程效军,等. 数字测图原理与方法[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2009.
- [10] 刘福臻,齐华,李永和. 数字化测图教程[M]. 成都:西南交通大学出版社, 2008.
- [11] 国家测绘局. GB14912 - 2005. 1:500, 1:1000, 1:2000外业数字测图技术规程[S]. 北京:测绘出版社, 2005.
- [12] 高井祥. 数字测图原理与方法[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 2008.
- [13] 许谷声,刘大杰,姚连璧,等. 等高线数字化的模拟法精度分析[J]. 测绘通报, 1998(4): 20 - 23.
- [14] Fris'en J, Yates P A, McLaughlin T, et al. Ephrin - A5 (AL - 1/RAGS) is essential for proper retinal axon guidance and topographic mapping in the mammalian visual system[J]. Neuron, 1998(20): 235 - 43.
- [15] Linsker R. How to generate ordered maps by maximizing the mutual information between input and output signals [J]. Neural Computation, 1989(1): 402 - 411.