

# 高程注记对数字高程模型精度的影响模式研究

石志宽<sup>1,2</sup>, 汤国安<sup>1</sup>

(1 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210046)

(2 南京农业大学中国土地问题研究中心, 江苏 南京 210095)

[摘要] 以 CAD 形式记录的地形图中高程点和与之相应的注记点平面位置并非完全一致, 直接使用有高程信息的注记点生成的 DEM 将含有误差, 在分析注记点与高程点分布模式的基础上提出了通过建立两者之间的关联关系将注记点高程恢复到高程点的方法, 同时在检验这种关联关系的可靠性方面提出了解决方案, 并在分析注记点移位对所生成 DEM 误差的基础上提出了注记偏差指数作为衡量高程注记质量指标, 为地形图的质量检查奠定了基础。

[关键词] 数字高程模型, 高程点, 注记点, 注记偏差指数

[中图分类号] P208 [文献标识码] A [文章编号] 1001-4616(2010)03-0109-07

## Research on the Influence Pattern of Elevation Annotation on DEM Accuracy

Shi Zhikuan<sup>1,2</sup>, Tang Guoan<sup>2</sup>

(1 Key Laboratory of Virtual Geographic Environment Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

(2 The Research Center for China Land Policy, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract** The position of elevation point and the corresponding annotation is not exactly the same plane on topographic maps in the form of CAD, the DEM that directly extracted from the elevation annotation point will contain error. Based on the analysis of the distribution pattern between the elevation point and elevation annotation point, one method of recovering elevation from annotation point to elevation point are proposed through establishing spatial relationship between them. At the same time, solutions are proposed to test the reliability of these relationships. On the analysis of error of DEM generated by the annotation points which occur displacement, the annotation deviation index is pointed out as a quality indicator to the quality of elevation annotation, which will be the foundation of topographic maps quality inspection.

**Key words** DEM, elevation point, annotation point, annotation deviation index

数字高程模型的数据来源和输入质量是影响 DEM 质量的关键<sup>[1]</sup>, 干涉雷达、激光扫描仪等新型传感器数据被认为是快速获取高精度、高分辨率的 DEM 最有希望的数据来源<sup>[2]</sup>。但传统的地形图生产工艺由测量人员实测数据经过人工综合取舍生成 CAD 格式记录的地形图, 并以此为数据源构建, 所得 DEM 以其高可靠性和高精度在 DEM 分析与应用中仍然广泛采用<sup>[3,4]</sup>。传统的数字地形图大多采用 CAD 软件将野外采集的空间位置信息以及编码信息进行处理而生成。出于图面美观的需要或图载信息量的考虑或为了避免注记压盖已有地物的情况, 高程注记大多采用移位注记的方法<sup>[5]</sup>, 移位的模式主要有自动移位和手工移位<sup>[6]</sup>。在仅有地形图而缺失原始观测数据的情况下生成 DEM 也是一种 DEM 的重要数据来源。

当使用 ArcGIS 软件进行高程数据建库以及利用高程数据建立数字高程模型时, 必须将 CAD 数据转换为 shapefile 文件, 此时高程点只有平面位置, 其高程信息却在移位后的高程注记数据里, 如果直接使用 CAD 转换来的注记点高程数据建立数字高程模型, 其 DEM 的精度将大打折扣, 因此需要将高程注记点的高程注记值赋给转换后只有平面位置的高程点。由于注记移位的方式不一样, 很难使用统一的模式对其修

收稿日期: 2009-05-12

基金项目: 国家“863”项目(2006AA12Z212)、南京农业大学青年科技创新基金(KJ08028)。

通讯联系人: 石志宽, 博士, 讲师, 研究方向: 地籍测量、地理信息系统、土地信息系统。E-mail: szk@njnu.edu.cn

改校正. 我们在使用注记点高程生成 DEM 中逐渐摸索出一种行之有效的方法.

## 1 高程注记点建立数字高程模型的流程

由高程注记点生成 DEM 的工作流程见图 1  
为了能分析出高程注记偏移对所生成 DEM 的质量影响, 选择了一幅 1: 10 000 Microstation 格式的数字地形图作为实验区. 共有 408 个高程点数据.

## 2 关键技术解析

### 2.1 高程注记移位对数字高程模型质量的影响

高程注记移位可能对生成的 DEM 产生影响, 为了能说明影响的大小, 将实验区的注记点和高程点数据分别生成 TIN, 见图 2 从生成的 TIN 上看, 在地面平坦的地区, 两者的 TIN 表面比较接近, 在地形形态变化比较剧烈的地区, 两者生成的 TIN 有较大的差异.

为了能够量化注记点移位对生成的 DEM 质量的影响, 需要将 TIN 内插为网格 DEM, 内插的方法很多<sup>[7]</sup>, 可采用 IDW 方法将两者生成的 TIN 内插为 GridDEM, 见图 3

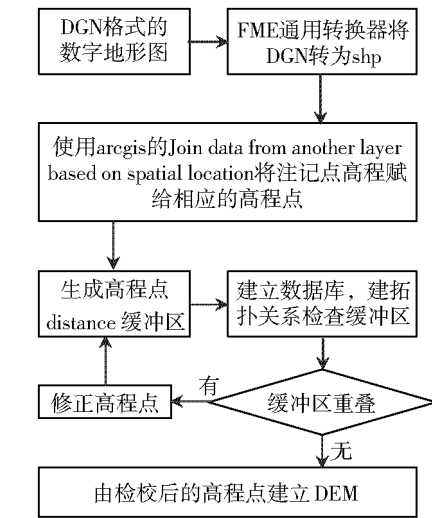


图 1 高程注记点建立数字高程模型的流程  
Fig.1 The construction process of DEM from elevation annotations

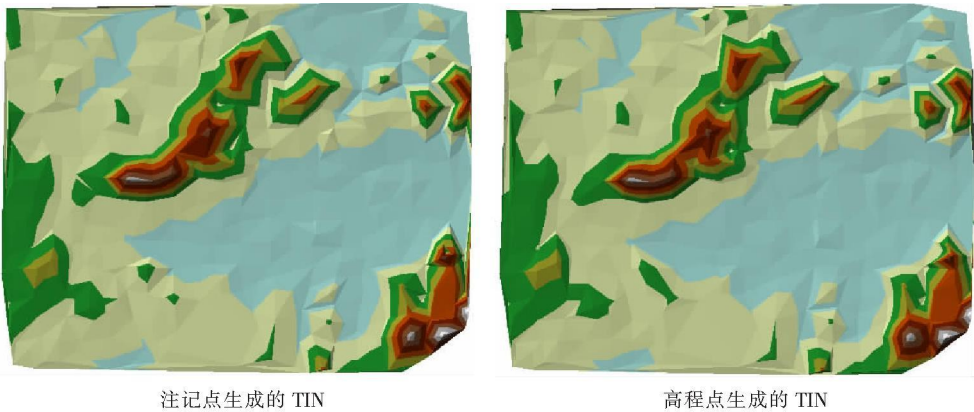


图 2 注记点与高程点生成的 TIN  
Fig.2 The TIN generated by annotation points and elevation points

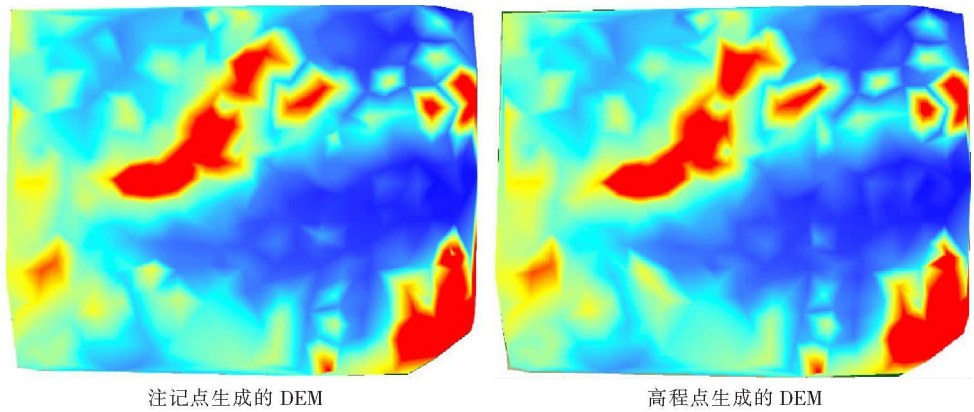


图 3 注记点与高程点生成的 GridDEM  
Fig.3 The GridDEM generated by annotation points and elevation points

无论采用何种数据采样方法, DEM 的原始地形数据中都不可避免地含有误差. DEM 是采样数据的最

终表现形式和产品. 减少数据采集时的误差是保证 DEM 精度的根本<sup>[8]</sup>. 将注记点生成的 DEM 减去高程点生成的 DEM, 得到由于注记点偏移产生的 DEM 误差分布图, 为了能够发现注记点偏移对 DEM 误差的影响, 将偏移数据叠加在误差分布图上, 可以清晰地看到高程点的注记偏移是产生 DEM 误差的主要原因. 详见图 4.

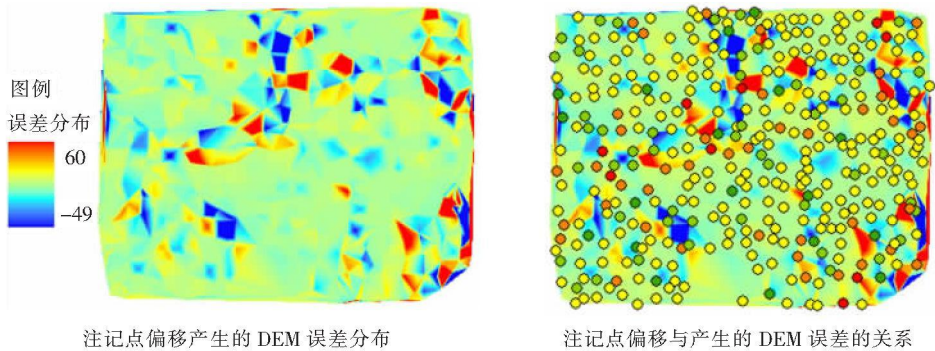


图 4 注记点偏移产生的 DEM 误差及其关系

Fig.4 The DEM error generated by annotation offset and its relationship

DEM 误差分布的有效值为 1 027 149 个单元, 1: 10 000 地形图的基本等高距为 2m, 误差在 1 倍等高距之内的栅格为 869 698, 若取 1/3 基本等高距作为极限误差, 满足要求的栅格为 611 830 个, 仅占全部单元的 59.5%, 由此可见, 如果使用移位后的注记点平面位置和注记高程值生成的 DEM, 精度无法满足要求, 必须将注记点高程恢复到高程点上, 然后才能内插生成 DEM.

从 DEM 误差的统计图上看, DEM 误差呈近似正态分布, 仿佛注记偏移对 DEM 的影响呈随机分布, 但进一步分析表明, 当将误差分布绘制成 QQPLOT 图时, 曲线呈波浪形, 说明注记偏移对产生的 DEM 误差并非随机分布<sup>[9]</sup>, 而是有极强的系统性, 参见图 5

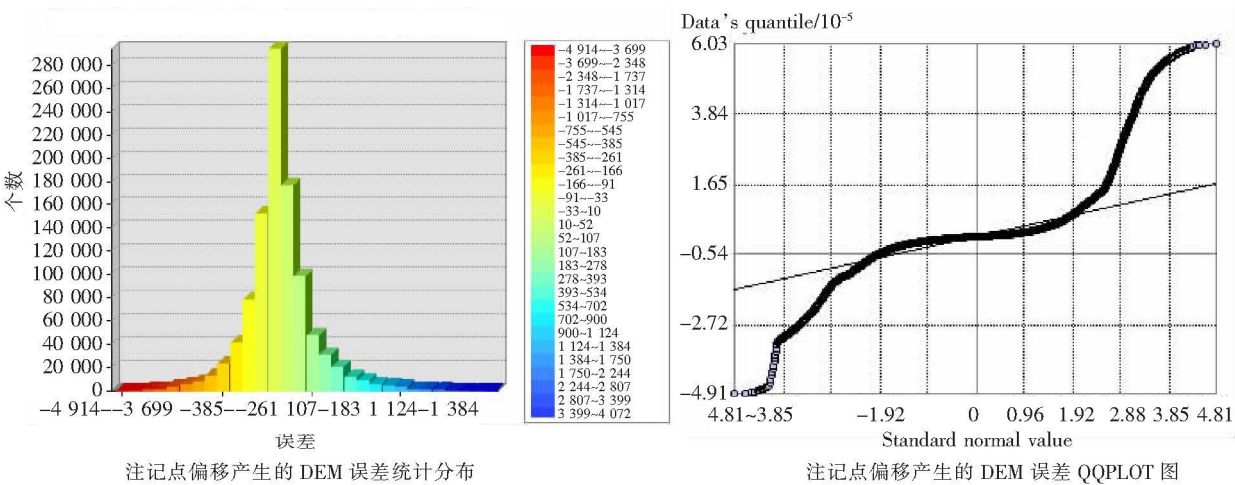


图 5 注记点偏移产生的 DEM 误差分布特性

Fig.5 The distribution of DEM error generated by annotation offset

注记点偏移产生的 DEM 误差影响因素主要有: 注记偏移位置、高程变化、距离等.

注记点偏移产生的 DEM 误差与注记偏移的位置有关系. 注记点偏移在第一、四象限对 DEM 产生的误差要小于偏移在二、三象限对 DEM 产生的误差, 原因是地形图的注记基本遵循右方注记的原则, 遵循此原则的高程注记发生碰撞遮盖需要移位的概率较小, 这样位移量就小, 产生的 DEM 误差相应地也小. 见图 6a

注记点偏移产生的 DEM 误差与注记偏移的高程变化有关系. 如果偏移发生在平地, 高程变化小, 注记点偏移产生的 DEM 误差相应地也小, 相反, 若注记点偏移产生在高程变化剧烈的地方, 则产生的误差也就大. 见图 6b



注记点偏移产生的 DEM 误差与注记偏移的距离有关系. 位移小则产生的 DEM 误差小. 见图 6c

为了能用一个指标来衡量注记偏移质量, 引入了注记偏差指数 deviation index ( $DI = \Delta D \times \Delta H$ ), 其中  $\Delta D$  为注记点偏移高程点的距离,  $\Delta H$  为注记点偏移出高程的变化情况见. 图 6d

DEM 的误差 ( $P_{DEM}$ ) 与  $DI$  呈线性相关:  $P_{DEM} = 0.003731 + 0.02866DI$

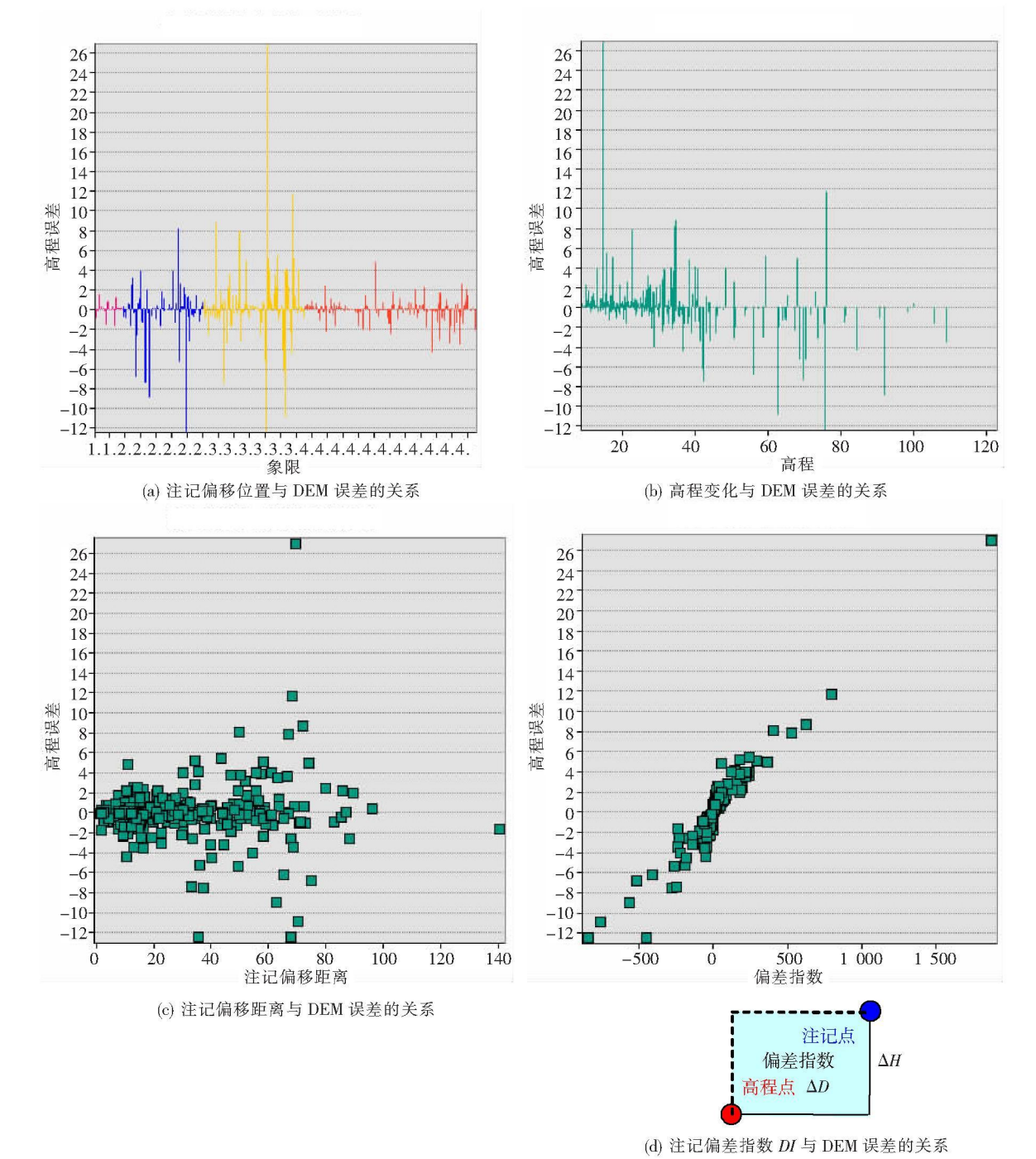


图 6 注记点偏移产生的 DEM 误差影响因素

Fig.6 The factors of DEM error generated by annotation offset

2.2 高程注记移位时高程点的高程值恢复

借助于 FME 软件可以方便地实现从 Micaostation 到 shapefile 文件的转换, 转换完成后, 高程点数据仅有平面位置, 没有高程信息, 给高程数据添加如下字段:

表 1 高程点需要添加的字段

Table 1 The fields added to elevation feature

| 字段名       | 类型      | 说明                          |
|-----------|---------|-----------------------------|
| X         | Double  | 存放高程点的 X 坐标                 |
| Y         | Double  | 存放高程点的 Y 坐标                 |
| ELEVATION | Double  | 存放高程点的 Z 坐标差                |
| ZX        | Double  | 存放关联的注记点的 X 坐标              |
| ZY        | Double  | 存放关联的注记点的 Y 坐标              |
| DX        | Double  | 存放注记点与高程点的 X 坐标差 = $ZX - X$ |
| DY        | Double  | 存放注记点与高程点的 Y 坐标差 = $ZY - Y$ |
| DZ        | Double  | 存放注记点与高程点的 Z 坐标差            |
| DI        | Double  | 存放注记点与高程点的注记偏差指数            |
| F         | Integer | 标志字段存放高程注记移位的模式标志           |

经过转换后的高程点仅有平面位置信息, 而相应的注记点却拥有平面位置信息和注记形式存储的高程信息, 由于注记移位的原因, 注记点的平面位置是不准确的, 但所代表的高程点的高程值却是正确的, 为了将注记点的高程值恢复给平面位置准确的高程点, 可以借助于 arcgis 的 Join data from another layer based on spatial location 功能恢复高程点与注记点的空间关联关系, 同时生成高程点与所关联注记点之间的距离信息 Distance, 并基于此关系将注记点高程赋给相应的高程点. 如果高程点绝对离散且间距足够大, 不存在注记重叠的情况, 与其他地形要素也不存在重叠情况, 此时高程点的高程值已经得以恢复, 但是这种理想条件在地形复杂的区域、地形特征要素密集区域很难满足, 高程偏移注记现象普遍.

2.3 高程注记移位的模式

关联完成后可以给高程数据的各字段赋值, 见表 1 计算出注记点与高程点的坐标差  $DX$  和  $DY$ ,  $DX$  为正说明注记点位于高程点的右面, 从实验数据分析的结果看大部分注记点位于高程点的右面, 符合高程注记的习惯, 平均偏移量为 0.8 mm. 当右面不合适注记时, 注记移位到左边的偏移量将增加到右边偏移量的 4 倍, 并且偏移的标准差大于右边的 4 倍, 偏移不规则性明显, 说明人工干扰的因素增大.  $DY$  为负说明注记点位于高程点的下面, 从实验数据分析的结果看大部分注记点位于高程点的下面, 符合高程注记的习惯, 平均偏移量为 1.6 mm, 见图 7. 当下面不合适注记时, 注记移位到上边的偏移量将与左边偏移量相当. 这种分布模式基本符合地形图高程注记的习惯.

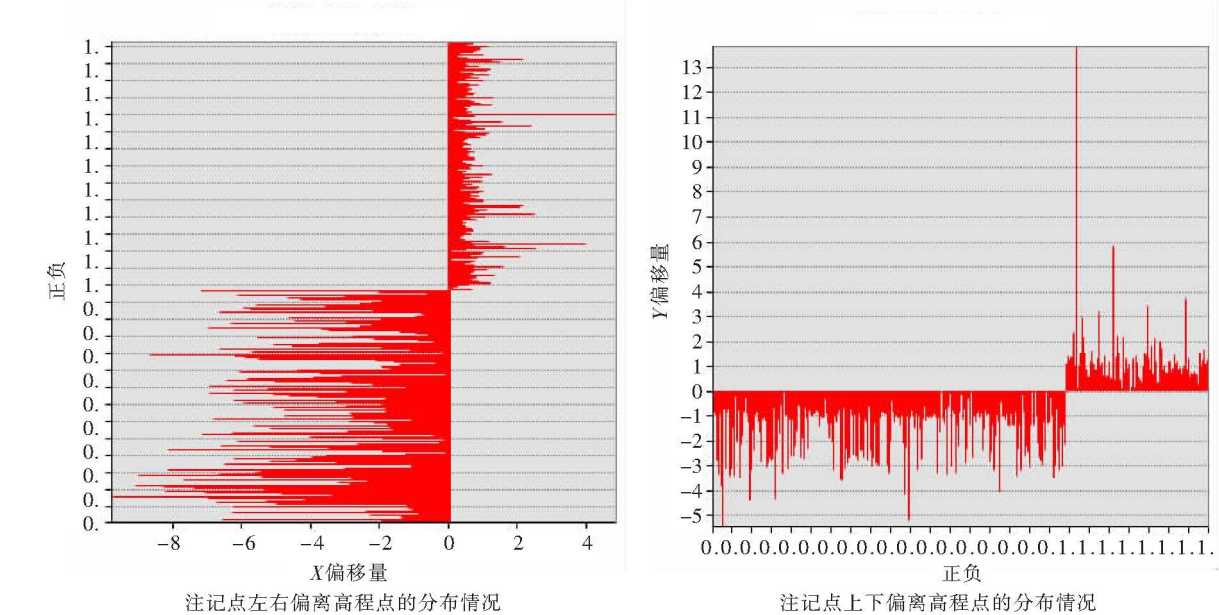


图 7 注记点沿坐标轴移位的分布模式

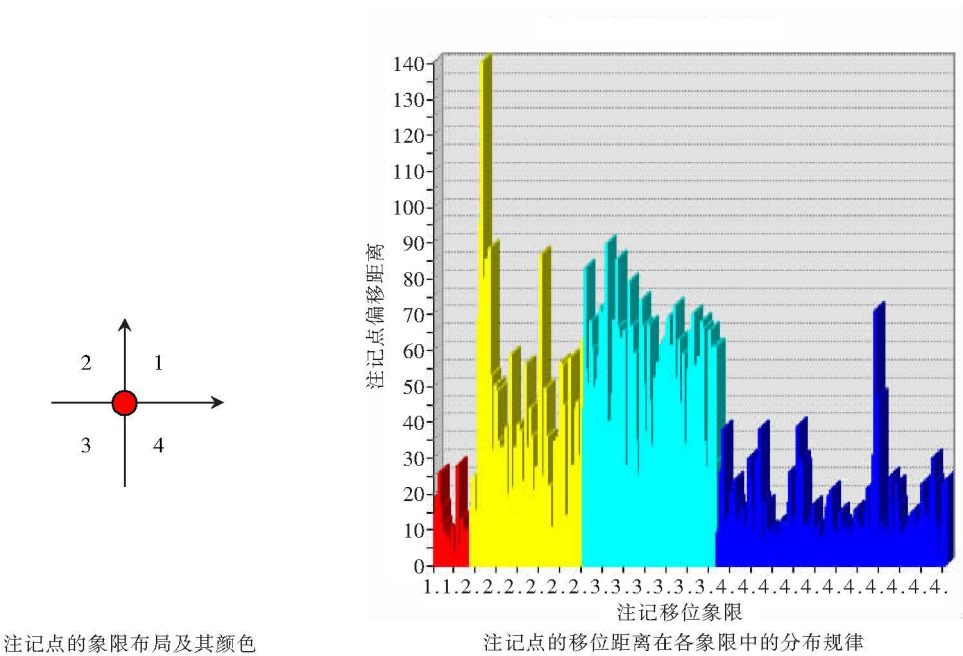
Fig.7 The distribution pattern of annotation point offset along the axis

注记点沿坐标轴移位的数据见表 2

表 2 实验区注记点偏移的数据

| Table 2 The fields added to annotation feature |             |               |             |               | mm |
|--|-------------|---------------|-------------|---------------|----|
| 408 个高程点                                       | 注记沿 X 坐标轴偏移 |               | 注记沿 Y 坐标轴偏移 |               |    |
| 偏移个数   | 正值          | 负值            | 正值          | 负值            |    |
| 偏移个数   | 211         | 197           | 118         | 290           |    |
| 偏移最小值  | 0.044 892   | - 9.769 83    | .0137 90    | - 5.428 19    |    |
| 偏移最大值  | 4.886 42    | - .047 726    | 13.837 7    | - .0159       |    |
| 偏移平均值  | 0.757 538   | - 3.624 492   | 1.207 689   | - 1.624 702   |    |
| 偏移标准差  | 0.546 939   | 2.300 98      | 1.403 642   | 1.021 977     |    |
| 偏移总量值  | 159.840 475 | - 714.024 975 | 142.507 326 | - 471.163 568 |    |

注记点的移位方向可以高程点为参考 ( 或者为坐标原点 ), 若注记点在高程点的东北角, 则认为移位方向为第一象限, 依此类推. 在不同的象限, 注记点偏移的方向不一样, 高程注记最佳的位置应为第一象限, 位于第一象限的注记大多为 CAD 系统自动选择的位置, 因此, 位移的距离较小, 如本实验数据平均位移仅为 0.9mm, 位移距离变化不大, 仅为 0.6mm, 但是, 复杂地区受图载量的限制, 完全能够注记在第一象限的并不多, 如本实验中仅为 29 点, 大多数注记选择向第四象限移位, 在本实验中近一半 ( 183 ) 的注记点选择了第四象限, 见图 8



注记点的象限布局及其颜色
 注记点的移位距离在各象限中的分布规律

图 8 注记点移位距离的分布模式

Fig.8 The distribution pattern of annotation's offset distance

注记点在各象限中偏移距离数据见表 3

2.4 高程点的恢复高程值正确性验证

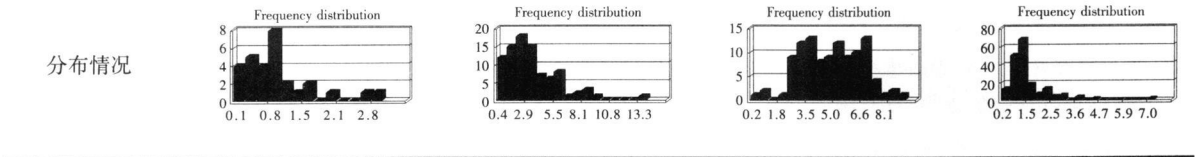
根据上面的分析可知, 由于注记移位的存在, 注记点与高程点之间的关系是相当复杂的, 目前尚没有准确地描述两者之间关系的有效算法, 即便是有算法, 移位容易, 恢复就难了. 因此, 经过 arcgis 的空间关联处理后, 高程点与注记点的空间关联关系基本上都能恢复, 但是恢复的准确性需要进一步验证, 验证的方法是: 以高程点为核心, 以高程点与所关联注记点之间的距离信息 Distance 为半径, 借助于 ArcGIS 的 BUFFER 功能生成每个高程点的缓冲区. 然后建立 geodatabase, 将高程点、注记点、缓冲区导入到 geodatabase 三者之间的拓扑关系是:

- 缓冲区完全包含高程点;
- 注记点位于缓冲区边沿;



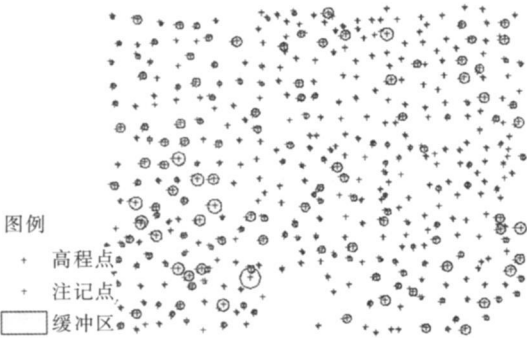
表 3 实验区注记点在各象限中偏移距离数据

|       | Table 3 The data of annotation point offset |             |           |             | mm |
|-------|---|-------------|-----------|-------------|----|
| 偏移象限  | 1   | 2           | 3         | 4           |    |
| 偏移个数  | 29  | 89          | 107       | 183         |    |
| 偏移最小值 | .139 741                                    | .351 482    | .202 021  | .190 845    |    |
| 偏移最大值 | 2.806 31                                    | 14.039 2    | 8.948 31  | 7.115 03    |    |
| 偏移平均值 | .950 051                                    | 3.440 441   | 4.822 538 | 1.304 943   |    |
| 偏移标准差 | .628 674                                    | 2.373 788   | 1.712 265 | .843 371    |    |
| 偏移总量值 | 27.551 468                                  | 306.199 291 | 516.011 6 | 238.804 635 |    |

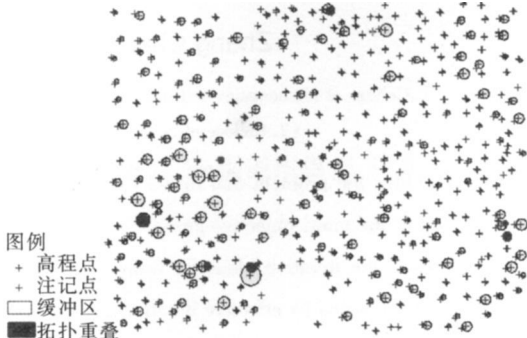


缓冲区与缓冲区不相交则高程点肯定不会有二义性, 空间关联关系正确;  
不同高程点的缓冲区相交有可能空间关联关系不正确.

根据以上分析, 对实验数据做缓冲区处理, 并建立拓扑关系. 缓冲区完全包含高程点可采用 Must Be Properly Inside 拓扑检查规则; 注记点位于缓冲区边沿可采用 Must Be Covered By Boundary Of 拓扑检查规则; 缓冲区与缓冲区不相交采用 Must Not Overlap 拓扑检查规则, 所建缓冲区和检查的结果见图 9



注记点、高程点及检验缓冲区分布



关联关系出现错误的可能区域

基于实验数据, 前面两种拓扑关系均能满足, 但是共发现 7 处缓冲区重叠情况, 两处完全重合, 并且缓冲区的高程值完全一样, 检查后发现高程点重复出现并且在此处重复注记; 其余五处部分重合, 其中一处高程值完全一样, 检查后发现两高程注记点高程一致, 位置靠近, 说明无误; 其中一处高程值不一样, 检查后发现求注记点偏差过大, 就近原则进行注记点到高程点的空间关联发生错误, 对这一现象逐一进行校正; 其余无误. 见图 10

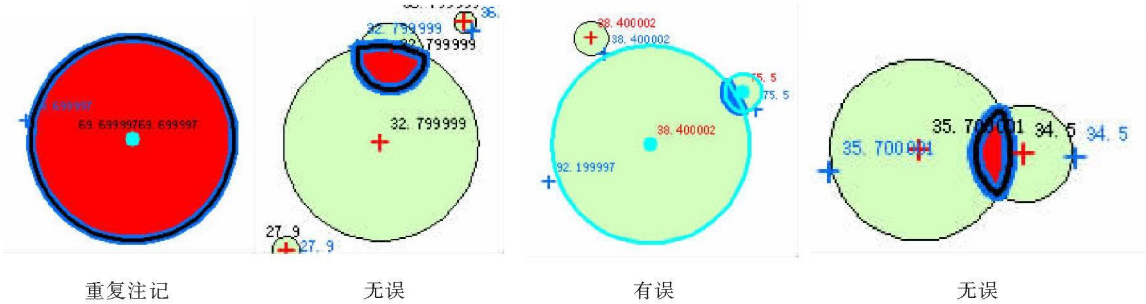


图 10 常见的拓扑错误与注记空间关联的正确性关系

Fig.10 The common topology errors and the correctness of the annotation's spatial association

(下转第 121 页)

## [参考文献]

- [1] 董向荣, 黄厚宽, 张伟. Agent协商研究进展[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(32): 23-27
- [2] Jennings N R, Faratin P, Lomuscio A R, et al. Automated negotiation: prospects, methods and challenges[J]. Group Decision and Negotiation, 2001, 10(2): 199-215.
- [3] 李一军, 丁伟, 曹荣增. 交互式多目标协商模型在谈判领域中的应用研究[J]. 管理工程学报, 2002(6): 1-3.
- [4] 张蕊芬, 蒋国瑞, 黄梯云. 多 Agent两阶段多属性协商模型[J]. 计算机应用, 2009, 2(29): 565-567.
- [5] Yager P R. On the inclusion of importances in multi-criteria decision making in the fuzzy set framework[J]. International Journal of Expert Systems: Research and Applications, 1992, 5: 211-228.
- [6] Chen J Q, Lee S M. An exploratory cognitive DSS for strategic decision making[J]. Decision Support Systems, 2003, 10(36): 147-160.
- [7] Akhavi F, Hayes C. A comparison of two multi-criteria decision making techniques[J]. Systems Man and Cybernetics, 2003(1): 956-961.
- [8] Wu Zhibin, Chen Yihua. The maximizing deviation method for group multiple attribute decision making under linguistic environment[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2007, 1608-1617.
- [9] Zhou Shangning, Chiclana Francisco, John Robert I, et al. Type-1 OWA operators for aggregating uncertain information with uncertain weights induced by type-2 linguistic quantifiers[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2008, 3281-3296.
- [10] 李登峰, 陈守煜. 多目标优化问题的模糊交叉算法与收敛性[J]. 应用数学, 1997, 10(3): 107-109.
- [11] 李登峰, 周明. 含模糊数的模糊多目标多人优选决策方法[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2001, 10(5): 662-665.

[责任编辑: 孙德泉]

(上接第 115 页)

## 3 结论

CAD形式记录的数字地形图是 DEM 的重要数据源, 高程注记点的移位将给使用高程注记产生 DEM 的精度产生影响. 借助于空间关联工具可以建立高程注记与所对应高程点的关系, 从而恢复高程点的高程值, 由此高程数据可内插产生 DEM, 但是空间关联的正确与否必须进一步确认, 缓冲区冲突是检查空间关联关系是否正确的有效途径.

高程注记移位对数字高程模型质量产生影响, 注记偏差指数与所生成的 DEM 精度高度相关, 可以作为衡量高程注记质量的有效指标.

## [参考文献]

- [1] Eklundh L, Martensson U. Rapid generation of digital elevation models from topographic maps[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1995, 9: 329-340.
- [2] 李志林, 朱庆. 数字高程模型[M]. 2版. 武汉: 武汉大学出版社, 2003: 12-28.
- [3] 汪自军, 陈圣波. 利用 DWG 数据建立 DEM 关键技术研究[J]. 计算机应用与软件, 2009, 26(2): 42-44.
- [4] 李正海, 朱萍. 一种基于 AutoCAD图形文件的 DEM 构建方法[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2008, 27(4): 420-423.
- [5] 唐诗华, 李洪玉, 谢勋峰. 在 CAD平台下实现高程点智能展点的一种方法[J]. 测绘通报, 2006(4): 51-57.
- [6] 李乃良, 杨孝安. 基于 AutoCAD的地形图中高程注记的自动移位[J]. 城市勘测, 2008(2): 119-121.
- [7] 汤国安, 刘学军, 闫国年. 数字高程模型及地学分析的原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 73-100.
- [8] 周启鸣, 刘学军. 数字地形分析[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 63-64.
- [9] 汤国安, 杨昕. ArcGIS地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 363-421.

[责任编辑: 丁 蓉]