

采用不规则三角网插值进行土地整理项目前期平整土方量的计算

柯晓山, 张 玮, 王荣静, 张春再

(中国农业大学信息管理系, 北京 100094)

摘 要: 土地整理项目前期, 要求快速高效地计算平整土方量。该文在一般现有地形图等高线与高程点的资料基础上, 采用不规则三角网插值的方式进行等值线插值, 基于插值后的等值线, 采用不规则三角网剖分插值的方式进行数字高程模型的建立, 并计算土方量。根据实测数据, 数字高程模型精度符合要求, 据此进行土方量的计算具有一定的精度, 这种方法具有较高的可行性。

关键词: 土地整理; 土方量估算; 不规则三角网插值; 数字高程模型; 等高线; 高程点

中图分类号: F311

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)03-0243-05

0 引言

土地整理项目中土地平整工作占有重要位置, 其费用一般占整个土地整理项目投资的一半左右, 因此在项目初期如何快速准确的估算出土地整理中平整土方量的大小具有极其重要的意义。土方量的计算, 往往采用对需要平整的区域进行格网测量的方式得到其高差, 然后采用四棱柱方式进行平整土方量的计算^[1]。这种方法在测绘的基础上进行, 要求与测量工具相配合, 工作量大, 工作效率不是很高, 适用于进行一些面积不是很大的工程项目。土地整理项目一般面积比较大, 项目初期对土方量估算要求成本低、效率高, 并且需要一定的精度等特点。因此需要一种更加经济实用效率更高的方法对土地平整所需土方量进行估算。

考虑到土地整理项目区一般都有比较大比例尺的地形图, 在数字化地形图的基础上, 利用等高线与高程点进行等值线插值, 并在等值线基础上进行三角剖分插值得到项目规划区的数字高程模型(DEM), 利用DEM计算土地整理项目区土地平整面积的土方量, 这种方式相对经济、高效, 并且在一般的GIS平台上都可以实现。

1 方法原理

1.1 高程不规则三角网(TN)内插生成DEM

生成DEM的插值方法主要有三种: 分块内插, 剖分内插与单点移面内插^[2], 其中分块与单点内插由于计算量比较大, 实际应用中不常使用。目前应用中通常采用的剖分内插的方式, 通过建立剖分三角形进行插值, 即采用不规则三角网(TN)对区域进行覆盖。TN方式对于地表的断裂带以及约束带等地表数据具有很好的处理质量与效率, 因此被认为是一种建立DEM比较好的方式。

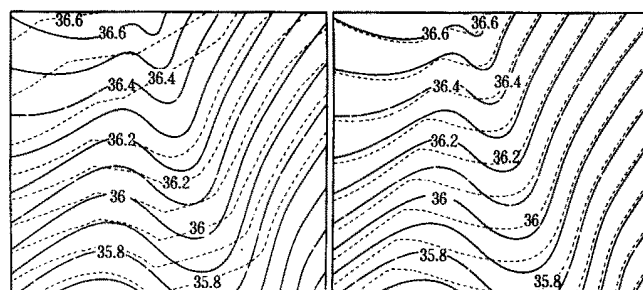
一般来讲, 土地整理项目的平整区域为典型带约束域的不规则区域, 确定图斑平整量的大小, 必须考虑到

其边界的约束条件, 采用TN插值的方式进行DEM模型的建立对于约束边界的计算精度比较高, 逼近效果比较好。

1.2 采用TN进行等高线内插

考虑到地形图上的高程点数量有限, 有可能出现项目区需要平整的土地内没有任何高程点的现象, 此时计算的土方量没有具体表现出来平整地块周围高程点对平整地块的权重影响, 只是简单地跨越了一个或者少数几个TN进行计算, 这样计算得到的土方量精度往往不是很高, 不能准确模拟出地形。

为了体现数据的影响程度, 可以考虑采用基于等值线的插值方式^[3]对等高线进行插值加密。对等高线进行插值的方法一般采用基于已知等高线或者基于已知高程点两种方式进行加密^[4,5]。单纯采用等高线进行插值, 信息量往往不够, 如图1a, 实线为真实等高线, 虚线为单纯采用等高线插值生成的等高线, 可以看出, 这样生成的等高线往往在一些变化幅度较大的地形上很难体现变化, 甚至在某些地方还出现了错误的情况; 考虑到地形图一般同时具有等高线与高程点, 可以采用以高程点为控制, 对等高线进行TN的生成, 并且利用等值线内插的方式进行等高线的内插, 这样内插出来的结果在精度和控制方面都远远要优于单纯应用等值线进行内插得到的结果(图1b)。



a. 单纯等高线内插结果

b. 以高程点控制内插结果

(图中实线为标准等高线, 虚线为插值生成的等高线)

图 1 对等高线的插值结果

Fig 1 Result of interpolation to contour line

1.3 采用TN插值的DEM计算土方量

对于土方量的估计多采用断面法与方格法^[6]以及

收稿日期: 2003-10-29 修订日期: 2004-03-10

基金项目: 国家 973 项目(G1999045708)

作者简介: 柯晓山(1978-), 男, 江西樟树人, 硕士生, 研究方向为地理/土地信息系统与遥感应用。北京 中国农业大学信息管理系, 100094。Email: kexiaoshan@sohu.com

表格法^[7]等, 这些方法一般基于格网式DEM, 在以TN为模型的DEM中, 由于只有三角形的棱柱, 因此可以采用对每个三角形棱柱进行计算的方法。计算的基本原理如图2。

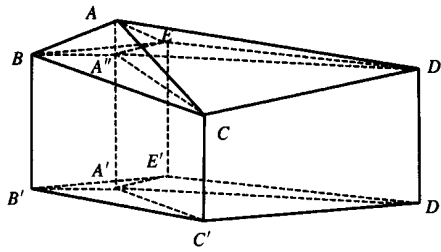


图2 TN计算土方量示意图

Fig 2 Sketch map of earthwork calculation with TN

对于任何一个TN例如 $\triangle ABC$, 求体积即为计算棱柱 $ABCA'B'C'$ 的体积 V , 设 A, B, C 点高程各为 H_A, H_B, H_C , 平整土地后高程为 H , 体积计算公式如下

$$V_1 = \frac{S}{3} \cdot (\Delta H_A + \Delta H_B + \Delta H_C) \quad (1)$$

$$V_2 = \frac{S}{3} \cdot \frac{\Delta H_{MAX}^3}{(\Delta H_{MAX} + \Delta H_{MN})(\Delta H_{MAX} + \Delta H_{MD})} \quad (2)$$

$$V_3 = \frac{S}{3} \cdot \left[\frac{\Delta H_{MAX}^3}{(\Delta H_{MAX} + \Delta H_{MN})(\Delta H_{MAX} + \Delta H_{MD})} - \Delta H_{MAX} + \Delta H_{MN} + \Delta H_{MD} \right] \quad (3)$$

$$S = \sqrt{C(C - D_{AB})(C - D_{BC})(C - D_{AC})} \quad (4)$$

$$C = \frac{1}{2}(D_{AB} + D_{BC} + D_{AC})$$

$$D_i = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (i = 1, 2, 3)$$

式中 S ——TN投影到底面的三角形面积, 其计算可采用海伦公式如式(4), 其中 C 为三角形周长的一半, D_i 为三角形各边长长度, ΔX 与 ΔY 为三角形各顶点的 X, Y 坐标差值; $\Delta H_A, \Delta H_B, \Delta H_C$ 分别等于 $H_A - H, H_B - H, H_C - H$, $\Delta H_{MAX}, \Delta H_{MD}, \Delta H_{MN}$ 分别等于 $\Delta H_A, \Delta H_B, \Delta H_C$ 三者绝对值中的最大值、中间值和最小值。

V_1 为全部是填方或者挖方时体积的大小; V_2 是当三角形内部分为挖方, 部分为填方的时候, 平整面切割得到的三棱锥体积, 此时三角形被切割成为一个底面与水平面平行的三棱锥和一个底面为四边形的楔体, 楔体体积为 V_3 。因此, 单个三角形平整体积可以用公式(5)进行计算

$$V = \begin{cases} V_1 & H > \text{MAX}(H_A, H_B, H_C) \\ V_2 + V_3 & \text{MN}(H_A, H_B, H_C) < H < \text{MAX}(H_A, H_B, H_C) \end{cases} \quad (5)$$

总体平整的土方量为所有三角棱柱体积和 V 。对于单个图斑边界线与三角形可能出现相交的情况(图3a), 求这个三角形平整体积的大小, 可以采取对图斑边界线进行点分割的方式分割成不同的三角形进行计算(图

3b), 当点分割密集到一定程度时就能够逼近真值。

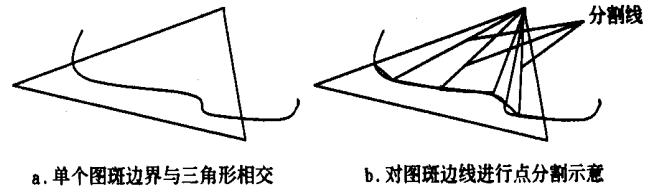


图3 采用TN分割图斑计算

Fig 3 Calculation of polygon divided by TN

2 试验过程

试验区位于某土地整理项目区内, 项目区呈长方形, 面积约为 2.8 km^2 , 地势平坦, 整个项目区高差 7.3 m , 为平原地区。土地利用现状基本上以农用地为主, 地势变化不大, 基本上没有很明显的地势高差。

本区具有最新测量的 $1:5000$ 地形图, 等高线等高距为 1 m , 高程点共有 229 个。如图4, 等高线出现断裂的情况是因为跨越了居民区, 考虑到有高程点的控制条件, 对于这种断裂不需要进行处理。需要平整的图斑一共有 6 块, 位置分别如图4所示。

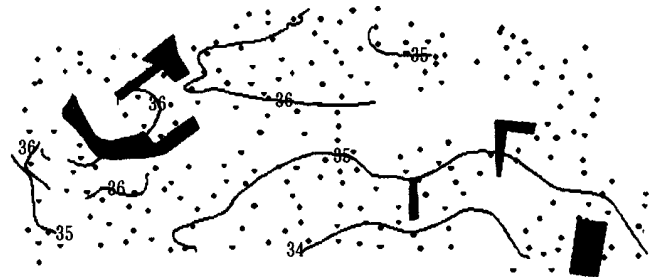


图4 地形图等高线与高程点以及平整图斑示意图

Fig 4 Contour lines and elevation spots in relief map and the planed polygon in map

采用的软件平台为ArcGIS8.1与MapGIS6.1。基于高程点对等高线的插值, 采用TN插值的方式将等高线插值为 0.1 m 等高距等高线。

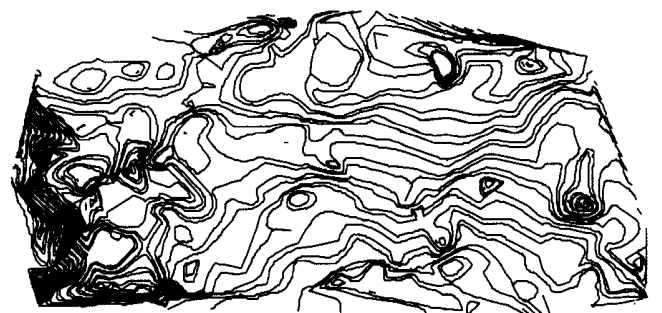


图5 采用TN插值生成的 0.1 m 等高线

Fig 5 0.1 m contour lines created by TN interpolation

采用加密后的等高线进行TN插值处理得到的DEM。

图7为其中一块图斑位置, 据此可以对此图斑进行土地整理挖填量计算。计算的结果如表1。

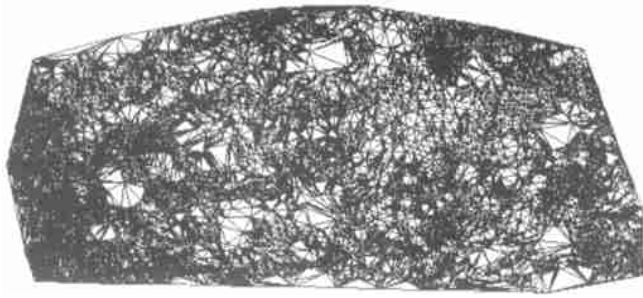


图 6 采用 0.1 m 等高线生成的 TIN

Fig 6 TINs interpolated by 0.1m contour line

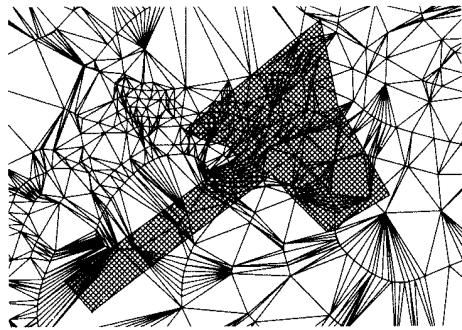


图 7 根据图斑所覆盖的 TIN 计算土方量

Fig 7 An example of calculating earthwork of one polygon in TINs

表 1 平整土地土方量计算

Table 1 Earthwork of polygon planed

图斑编号	面积 /m ²	高程范围 /m	高差 /m	挖方 /m ³	填方 /m ³
16/ 71	66810 7717	35 205~ 36 735	1. 530	41127. 3262	61085 9988
21/ 71	21337. 4437	34 400~ 35 555	1. 155	5909 0979	7397. 9922
33/ 74	46925. 5136	35 234~ 36 147	0 913	19812 0183	23007. 2320
14/ 74	10370 0416	34 702~ 35 399	0 697	3179 2942	4047. 5727
25/ 74	24466 7499	34 881~ 35 666	0 785	9909 0023	9296 3796
26- 3 /74	51467. 5495	33 885~ 34 699	0 814	12120 5081	14333 6830

注: 表中图斑编号为项目区内土地利用现状图的图斑号。

表 1 中挖方与填方是以图斑高程范围中最大与最小高程为基准进行运算的, 即将图斑削平成最低高程或者填满至最高高程所需要的土方量。

3 精度检验

平整土方量的计算是根据地面高程进行的, 精度依赖于地面高程的精度, 即 DEM 的精度。因此插值计算出来的 DEM 精度是平整土方量计算精度的关键。我们在平整的 6 个地块中的边界与中心随机地测量了 32 个点的高程, 与采用 TIN 插值出来的 DEM 计算出来的高程进行对比, 对比结果如表 2。

表 2 DEM 计算高程与实测高程值对照表

Table 2 V alues calculated by DEM and surveyed in random locations

m

点号	地理坐标 X	地理坐标 Y	计算高程	实测高程	点号	地理坐标 X	地理坐标 Y	计算高程	实测高程
1	39476976 554	4453329 207	34 235	34 111	17	39476667. 876	4454196 389	35 434	35 314
2	39477110 646	4453513 795	34 559	34 941	18	39474189. 448	4454167. 164	35 557	35 317
3	39477078 576	4453399 373	34 364	34 859	19	39474806 967	4454195 263	35 579	35 452
4	39477163 388	4453587 852	34 682	34 652	20	39474535 506	4454504 010	35 334	35 324
5	39476559 646	4453883 289	34 967	34 741	21	39474755 463	4454491 234	35 871	35 714
6	39476039 577	4453679 691	34 831	34 711	22	39474668 422	4454532 891	35 791	35 517
7	39476045 160	4453732 994	34 997	34 875	23	39474409 630	4454111 062	35 693	35 715
8	39476047 530	4453824 361	35 281	35 017	24	39474484 284	4454024 010	35 624	35 468
9	39474518 288	4454106 397	35 401	35 569	25	39474633 385	4454600 728	35 857	35 604
10	39476544 134	4454040 127	35 345	35 382	26	39474320 105	4454006 149	36 171	35 817
11	39476062 573	4453776 139	35 254	35 014	27	39474337 662	4454093 953	35 980	36 115
12	39476756 941	4454156 363	35 370	35 241	28	39474385 134	4454040 542	35 901	36 024
13	39476548 239	4454161 499	35 571	35 471	29	39474717 291	4454581 028	35 974	36 067
14	39476061 612	4453853 187	35 457	35 621	30	39474716 722	4454581 576	35 912	36 017
15	39476672 312	4454163 561	35 354	35 277	31	39474052 462	4454262 183	36 747	36 905
16	39476671 741	4454163 480	35 376	35 214	32	39476544 630	4454040 222	35 021	35 038

以实测高程为标准, 表 2 中 DEM 误差平均值为 0.162 m, 标准差为 0.109 m, 在目前的 1:10000 平原地区 DEM 国家标准中, 规定精度检测点不得少于 28

个, 标准差应当小于 0.5 m^[7]。对于 1:5000 的 DEM, 可以按照比例尺进行半数处理, 因此在精度检验点大于 28 个的基础上, 如果标准差小于 0.25 m, 则可以认为

这样的DEM 精度是可以接受的。

土方量精度的估计,考虑到DEM 的精度给出的是误差值,如果简单的采用以误差与图斑高差比值的方法求精度,可能会出现在某块图斑上有某些面积很小的小土包或者土坑,这种地形中有相当一部分高差并没有参与到土方量的计算当中去,因此,这样求出来的土方量精度并不能反映出实际情况。

根据高差对土方量的影响,可以考虑以6块图斑土方量为权重行计算各图斑的权重高差,总体土方量精度可以由DEM 误差与权重高差的比值计算出来,设土方量估算的整体平均精度为 a ,则各图斑的土方量权重 P 计算为

$$P = \frac{a \cdot (V_{di} + V_{fi}) \cdot H_i}{\sum_{i=1}^6 [a \cdot (V_{di} + V_{fi}) \cdot H_i]} \quad (6)$$

式中 V_{di} 、 V_{fi} ——分别为各个地块挖平与填满的土方量值, m^3 ; H_i ——各个地块的高差, m 。 a 在计算中消去,据此可计算出各图斑的土方量权重 P 。

根据权重 P 可以计算各个地块的权重高差如表3所示,所有权重高差之和为总体权重高差,据表3可计算值为1.28948 m,以此为项目区内施工的高差均值,与测量高差比值计算土方量的估算精度,按照平均误差计算精度为87.44%,按照标准差计算精度为91.55%。

表3 各个图斑土方量权重高差表

Talbe 3 Elevation difference of polygons in proportion with earthwork

图斑编号	高差/m	权重	权重高差/m
16/71	1.530	0.61936	0.94762
21/71	1.155	0.06087	0.07031
33/74	0.913	0.15483	0.14136
14/74	0.697	0.01995	0.01390
25/74	0.785	0.05971	0.04687
26-3/74	0.814	0.08528	0.06942

注:表中图斑编号为项目区内土地利用现状图的图斑号。

4 讨论与结论

4.1 问题讨论

1) 基于点对等值线进行插值加密的方法有很多种,采用T N的方式内插点然后加密光滑等高线是一种比较广泛而且成熟的方法,但是在地形变化比较大的地方有可能出现等高线反拐的现象。构建的T N应当是最优的Delaunay三角网^[9],这样插值出现的等高线才能够最大程度地减少反拐;

2) 测算土方量的时候,如何能够计算出来填方与挖方的总工程量最小时的高程,可以采用最小二乘法进行^[10],对于采用T N模型建立的DEM,运算关系比较复杂,需要单独进行讨论;

3) DEM的精度,目前尚未有很公认的定量化标准,一般认为,精度与DEM的分辨率和地形变化程度呈线性关系,衡量的方法则采用实测值与计算值之间误差的标准差进行估算^[11]。至于选取的点的分布问题,一般方法是采用对于边界和变化临界点进行选择,选择的点不允许有参加运算的已知高程点,在T N表示的DEM模型中,应当尽量选择三角形的中间位置;

4) 本文计算出来土方量的精度根据的是DEM误差与高差的比值,由于T N的分布的不规则性,计算出来的精度为基于权重计算出来的平均值,具有一定的参考价值。

4.2 结论

1) 采用T N插值的方法建立DEM具有速度快,精度比较高的优点,并且能够比较精确地描述不规则图斑,非常适宜土地利用工作中DEM的建立;

2) 以高程点为控制,以等高线为基础,采用T N方式对等高线进行内插,具有很高的模拟精度,在地形变化不是非常剧烈的地带,能够近似地模拟出正确的等高线,从而建立起比例尺比较小的DEM模型;

3) 采用本文提出的方法对平整土方量的计算具有原理简单,应用广泛,工作效率和成本都相对较低的特点,并且其精度基本上能够满足项目前期工作的要求。目前绝大多数主流GIS软件都能够支持这种模型的建立与计算,因此这种方法具有重要的推广意义。

[参 考 文 献]

- [1] 黄劲风 场地平整中的测量和计算——用PC—E500电子手簿计算土方量[J]. 北京测绘, 1995, (3): 38-40
- [2] 柯正谊, 何建邦, 池天河 数字地面模型[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993, 57-58
- [3] 陈述彭, 鲁学军, 周成虎 地理信息系统[M]. 北京: 科学出版社, 1999, 122-123
- [4] 龚有亮, 何玉华, 付子傲, 等 一种实用的等高线内插算法[J]. 测绘学院学报, 2002, 19(1): 36-37
- [5] 全斌 自动生成等高线的实现及问题探讨[J]. 矿山测量, 2000, 9(3): 17-19
- [6] 张光辉 快速计算土方量的方法[J]. 测绘通报, 1997, (5): 23-24
- [7] 刘桦 土方量的表格法测算[J]. 测绘通报, 2000, (4): 64-65
- [8] 国家测绘局 1:1万数字高程模型(DEM)生产技术规定[S]. 1998
- [9] 彭议普 Delaunay三角网与Voronoi图在GIS中的应用研究[J]. 测绘工程, 2002, 11(3): 10-12
- [10] 潘庆林, 潘琦 建筑场地平整土方量的优化计算[J]. 南京建筑工程学院学报, 2002, (2): 55-59
- [11] 汤国安, 龚健雅, 陈正江, 等 数字高程模型地形描述精度量化模拟研究[J]. 测绘学报, 2001, 30(4): 361-365

Application of Triangulated Irregular Network interpolation to calculation of earthwork in prophase of land consolidation project

Ke Xiaoshan, Zhang Wei, Wang Rongjing, Zhang Chunzai

(Department of Information Management, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: In prophase of land consolidation, the high efficiency and rate of earthwork calculation is demanded. In the paper, based on the contour lines and elevation spots in relief map, the method of Triangulated Irregular Network (TIN) interpolation was utilized in interpolation of contour lines, the Digital Elevation Model (DEM) based on the contour lines after interpolation was built. And the earthwork was calculated in utilization of the DEM. In contrast to the survey value of 32 location points, the accuracy of DEM met the practical demands. The method of earthwork estimation is feasible.

Key words: land consolidation; earthwork estimation; Triangulated Irregular Network interpolation; Digital Elevation Model; contour line; elevation spot