

数字地面模型的建立与应用

刘南艳, 翟玲

(西安科技大学 计算机系, 陕西 西安 710054)

摘要: 通过阐述数字高程模型(DEM)的一般概念,研究了DEM的建立过程,还对DEM的数据采集过程和数据结构作了详细的阐述,研制开发了DEM在实际工程中应用的多项功能软件,包括简单的土方量的计算、绘制剖面图、绘制三维格网图、计算表面积并对坡度的表面积进行统计等,给出了利用OpenGL绘制三维格网图和坡度的表面积统计。

关键词: OpenGL;剖面图;土方量;表面积;数字高程模型

中图分类号: P208 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2006)03-0500-04

Study of the construction and application of the DEM

LIU Nan-yan, ZHAI Ling

(Xi'an Technical University, Xi'an 710054, China)

Abstract: The paper puts forward the general concept of DEM first, and then studies the building process of DEM, data collecting process of DEM and data constructing process of DEM. Finally, the use of DEM in a real engineering project is explained, including drawing the sectional drawing, computing the easy cubic mete of the earth, the statistics of surface area in slope, drawing the gird map of three dimensions and computing the surface area, with the paper mainly introducing the drawing of the grid map of three dimensions and the statistics of the surface area of the slope using OpenGL.

Key Words: OpenGL; sectional drawing; cubic mete of earth; surface area; digital elevation model

数字地形模拟是针对地形地貌的一种数字建模过程,这种建模的结果通常就是一个数字高程模型(DEM)。自从20世纪50年代后期开始采用以来,DEM受到了极大的关注,并在测绘、土木工程、地质、矿山工程、景观建筑、道路设计、防洪、农业、规划、军事工程等领域得到了广泛的应用。

随着科学技术特别是计算机技术的发展,在DEM的数据获取方法、数据存储和处理速度等方面已经取得了很大的进步。数字地形模拟已经成为地球空间科学的重要的分支之一。为了推动DEM的发展,有必要对DEM理论进行进一步的阐述,并开发出生成DEM的其运用的一套软件。

1 数字高程模型的建立

1.1 利用数字摄影测量方法进行DEM数据采集方式

这也是数字摄影测量系统最主要的特征。自动采集方法按照像片上的规则格网、利用数字影像匹配进行数据采集,可利用高程直接求解的影像匹配方法,也可按照模型上的规则格网进行数据采集^[1]。但是在自动相关生成DEM时任意采集地貌特征点线,才能保证DEM的高保精度。特别是在平坦地区,森林覆盖的地区

和房屋密集的城区,仍需要相当多的人工干预和编辑工作,否则,DEM 的精度将难以保证。

1.2 利用不规则三角网建立 DEM

三角形 DEM 的建立应基于最佳三角形的条件,即应尽可能保证每个三角形是锐角三角形或三边的长度尽可能近似相等,避免出现大的钝角和过小的锐角。以下介绍三角网生成法建立不规则三角网(TIN)。

1.2.1 三角网生长的算法

(1) 将原始数据分块,以便检索所处理三角形临近的点,而不必检索全部的数据点。(2) 确定第一个三角形。从几个离散点中任选一个点 A,通常可取数据文件中的第 1 个点或格网中左下角的第 1 个点,在其附近的一个点 B 作为三角形的第 2 个点。利用余弦定理计算第 3 个点 C。

$$\cos \angle C_i = (a_i^2 + b_i^2 - c_i^2) / (2a_i b_i) \quad , \quad \text{其中 } a_i = BC_i, \quad b_i = AC_i, \quad c_i = AB_i \quad .$$

若 $\angle C = \max\{\angle C_i\}$, 则 C 为三角形的第 3 个顶点。

1.2.2 三角网中的内插

当不规则三角网建成后,可由不规则三角网求解该区域内任意一点的高程。TIN 的内插法与矩形格网的内插的方法有不同的特点,其用于内插的点的检索经 Grid 的检索要复杂。一般情况下仅用线形内插,即三角形 3 点确定的斜平面作为地表面连续而不能保证光滑。三角网中的内插分为如下两部分:

(1) 格网点的检索 给定一点的平面的坐标 $P(x, y)$, 要基于 TIN 内插该点的高程 z , 首先要确定该点位于哪个三角形中。比较有效的方法是用铅垂线算法来解决。由 P 点作一条垂线, 如果该条垂线与三角形有奇数个交点, 则该点在三角形内。否则在三角形的外部。

当点 P 不在所有的 TIN 内部时, 就要确定距离点 P 最近的三角网。分别将该三角网中的各个三角形的顶点取出, 并求解其与点 P 的距离的总和。然后找出距离总和最小的三角形, 最后在该三角形进行高程的内插。

(2) 高程内插 若 $P(x, y)$ 所在的三角形为 $\triangle Q_1 Q_2 Q_3$, 3 顶点的坐标为 $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), (x_3, y_3, z_3)$,

则由 Q_1, Q_2 和 Q_3 确定的平面方程为
$$\begin{bmatrix} x & y & z & 1 \\ x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & z_3 & 1 \end{bmatrix} = 0$$
。若令: $x_{21} = x_2 - x_1, x_{31} = x_3 - x_1, y_{21} =$

$y_2 - y_1, y_{31} = y_3 - y_1, z_{21} = z_2 - z_1, z_{31} = z_3 - z_1$ 。则 P 点的高程为

$$z = z_1 - \frac{(x - x_1)(y_{21} z_{31} - y_{31} z_{21}) + (y - y_1)(z_{21} x_{31} - z_{31} x_{21})}{x_{21} y_{31} - x_{31} y_{21}}$$

下面附上一组测试数据所生成的 TIN 图形, 见图 1。

2 数字高程模型的应用

数字高程模型清楚地表示了一个区域的地形的整体情况^[2], 在应用中经常要了解从地面上一点到另一点沿途的地形变化情况, 如可视化、地貌轮廓形状、斜坡特征, 地表切割强度等, 这就需要绘制地形剖面图。

绘制方法如下: 设 $h_{i,j}$ 为格网点 (I, j) 上的高程值, 如果确定了直线的起点 (x_1, y_1) 和终点 (x_2, y_2) , 就可惟一地确定这条直线上各个点平面位置和高程^[3]。设在该条直线上需要内插点的距离为 C(文中的内插方法使用双线形内插), $l[i]$ 为存储线路的里程双精度数组, $hl[i]$ 为存储相应线路点的高程, k 为该条直线的方位角, d 为该线路的长度: 则 $l[i] = l[i-1] + d$, $x = x_1 + c \cos k$; $y = y_1 + c \sin k$; $hl[i] = \text{sxncha}(x, y)$, 其中 $i = 1, 2, \dots; l[0] = 0; hl[0] = \text{sxncha}(x_1, y_1)$; (其中 $\text{sxncha}()$ 为双线形内插函数)。

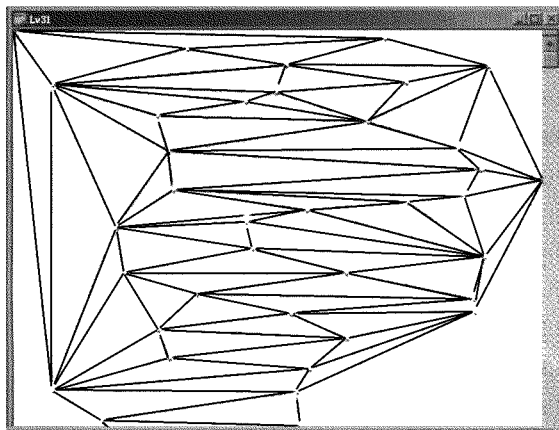


图 1 TIN 图

在计算出剖面线上各点的高程 $hl[i]$ 和剖面线上的距离 $l[i]$ 以后, 就可根据在屏幕上选定的原点, 垂直

的比例尺和水平比例尺,自动绘制出所需要的地形剖面图[4].

用该程序测试的一组数据的剖面图见图 2.

3 数字高程模型生成系统的介绍

GeoDEM 是笔者根据上述的算法开发的 DEM 生成应用软件. 该软件是在 window 2000 平台上使用 Visual C++6.0 编制的[5,6],并包括了生成 DEM 格网数据的两种算法. 该软件的原始数据是野外采集或室内获取的三维离散点坐标. 该软件除实现构网与内插算法之外,还具有三维显示,简单的土方量的计算、画剖面图、坡度的表面积的统计的功能. 图 3 是该系统的模块组成.

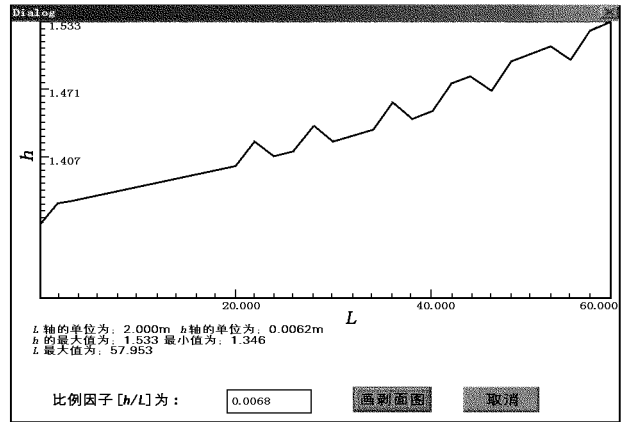


图 2 一组测试数据的剖面图

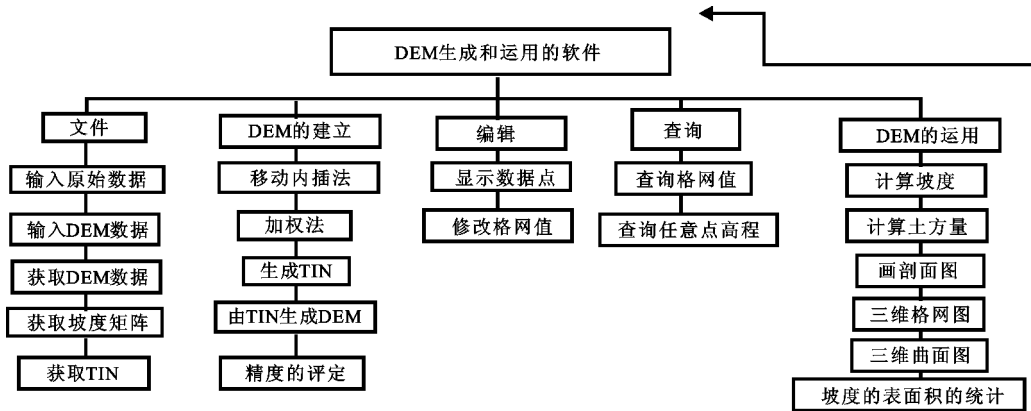


图 3 数字高程模型生成系统模块图

(1) 数据入口 通过建立一个文件,把离散点的矢量数据或直接生成的 DEM 数据直接输入系统中,以便参与系统的各种运算.

(2) DEM 的建立 该系统采用了移动内插法、平均加权内插法生成 DEM,并可在屏幕上画出所生成的 DEM 格网图,另外还可检查生成 DEM 的精度.

(3) 编辑 在编辑中,可显示原始数据点,并且可修改格网点的高程.

(4) 查询 在查询中,可查询格网点的高程,以便检查生成 DEM 数据的正确性,此外还可查询格网中任意点的高程.

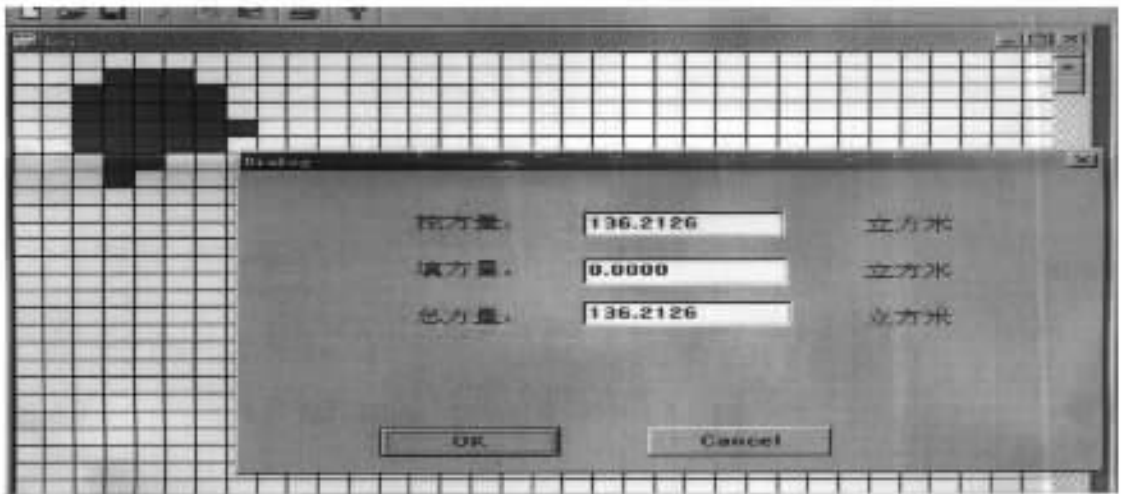
(5) DEM 的运用 该模块是系统最重要的模块,它提供了在工程中有很实用价值的功能. 如土方量的计算,画剖面图等. 在土方量的计算中,只要在屏幕上选定线路的坐标,并确定线路两旁的宽度和线路的水平高程,程序就会自动填充出哪些格网该挖,哪些格网该填,并可显出出土方量[7]. 在坡度的表面积的统计中,只要输入填充格网的颜色、坡度的起始和终止坡度值,程序就会在屏幕上自动用指定的颜色填充满足坡度条件的格网,并计算出所有满足条件格网的表面积[8]. 简单计算土方量的运行的结果见图 4.

4 结束语

(1) GeoDEM 软件的原始数据是根据野外采集或室内获取的三维离散点坐标. 该软件除实现构网与内插算法之外,还具有三维显示,土方量的计算、画剖面图、坡度的表面积的统计等多种功能.



(a)



(b)

图 4 土方量计算的结果图

(2) 开发 DEM 在实际工程中应用软件除土方量的计算、绘制剖面图、绘制三维格网图、计算表面积并对坡度的表面积进行统计等外,该算法能否在其他方面应用还需做进一步研究。

参考文献:

- [1] 张祖勋,张剑清. 数字摄影测量学[M]. 武汉:武汉大学出版社,1997.
- [2] 徐清. 地形三维可视化技术[M]. 北京:测绘出版社,2000.
- [3] 李志林,朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉:武汉测绘科技大学出版社,2000.
- [4] 龚健雅. 地理信息系统基础[M]. 北京:科学技术出版社,2001.
- [5] 木林森,高峰霞. Visual C++ 6.0 使用与开发[M]. 北京:清华大学出版社,1999.
- [6] 胡峪,刘静. Visual C++ 编程技巧与示例[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2000.
- [7] 汤国安,赵牡丹. 地理信息系统[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [8] 白建军,朱亚军. OpenGL 三维图形设计与制作[M]. 北京:人民邮电出版社,1999.

(编辑:齐淑娟)