

# AutoLISP 编程在工程计算中的应用

王小波 侯英杰

(中航勘察设计研究院有限公司,北京 100098)

**【摘要】** 三维实体重构是工程规划和设计以及管理等各项技术的基础。采用 AutoLISP 编程方法,基于距离反比加权法和 Delaunay 三角网法插值原理,开发出了一套工程数据处理程序。该程序能进行离散点数据插值、三维数字地面模型的生成、三维实体重构和工程土方量计算。采用这一方法编制的程序具有移植性强、操作方便直观、适用范围广、计算精度高等特点。同时,该程序能大大减轻工程人员的工作强度,提高工作效率。该程序的使用不仅有利于设计人员对工程计算结果的判断和利用,而且有利于设计人员对设计作出及时地调整,从而达到优化工程设计、减少工程费用的目的。

**【关键词】** 三维实体重构;AutoLISP;距离反比加权法;Delaunay 三角网法;数字地面模型;土方量

**【中图分类号】** TB 115

**【文献标识码】** A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2015.02.001

## Application of AutoLISP in Engineering Computing

Wang Xiaobo Hou Yingjie

(AVIC Geotechnical Engineering Institute Co., Ltd, Beijing 100098, China)

**【Abstract】** Three-dimensional solid reconstruction is the technological basis of engineering planning, design and management. By using AutoLISP programming method and employing the interpolation theories with inverse distance weighted method and Delaunay triangulation method, a program is developed for engineering data processing. This program can carry out a discrete point data interpolation, three-dimensional digital terrain model generation, three-dimensional solid reconstruction and engineering earthwork calculation. With the proposed method, the program has strong interoperability, easy and visual operability, wide applicability, and high accuracy. At the same time, the program can greatly reduce the working strength of engineers and improve the work efficiency. And furthermore, the application of this program is not only beneficial to the designers to estimate and utilize the results in engineering calculations, and is helpful for designers to make a timely design adjustment, so as to optimize the engineering design and reduce the project costs.

**【Key words】** three-dimensional solid reconstruction; AutoLISP; inverse distance weighted method; Delaunay triangulation method; digital terrain model; earthwork

### 0 引言

三维实体重构是工程规划和设计以及管理等各项技术的基础。在水利、港口和交通等工程应用领域,三维实体模型的建立具有重要的意义。通过建立三维实体模型,能够准确、快速、高精度地进行各种工程计算,能对工程设计方案存在的问题进行及时调整和修改,达到优化设计方案、节约工程投资、加快项目建设的目的。

在工程计算中,土方量的计算是一项重要内容。目前,针对土方量的计算方法有很多,传统的方法有断面法、方格网法、等高线法、散点法、表格法等。但

是这些计算方法通常工作量大,不易在计算机上实现,也不能有效利用现有的数据资源。为了使工程人员从繁重的手工计算中解脱出来,许多学者和工程人员对土方量的计算方法进行了研究,并开发出了一系列的应用程序。

李殷在 AutoCAD 图形平台下利用不规则三角网(TIN)对土方量的计算方法进行了探讨<sup>[1]</sup>;慕永峰用 Visual Basic 编程开发出了建立数字地面模型(DTM)的应用程序<sup>[2]</sup>;纪凯利用 AutoCAD 平台中的 VBA 编程方法实现了公路施工横断面图的绘制和土方量计算<sup>[3]</sup>;李春梅利用 ArcGIS 软件进行

了土方量计算及数字地面模型的可视化<sup>[4]</sup>;周诚在 Visual C++ 编程环境下使用 AutoCAD 平台中的 ObjectARX 技术开发出了针对土方量计算的程序<sup>[5]</sup>。这些计算方法和程序在工程计算中都得到了很好地应用,但在计算时,有些需要在不同的软件之间导入导出数据,不便于数据的处理和编辑;有些基于 AutoCAD 平台的程序需要相应 AutoCAD 版本的支持,移植性差。

AutoLISP<sup>[6]</sup>是基于 AutoCAD 软件平台的一种二次开发工具。在工程设计和计算中,很多第三方软件都利用到了 AutoLISP 语言。AutoLISP 编程的优点在于它是一种解释性语言,可以使用任何文本编辑器进行编辑,代码易读且编辑方便;同时像其它编程语言一样,利用 AutoLISP 可编写出同样功能的程序,而且程序可直接对 AutoCAD 中的图形数据进行处理和编辑。此外,AutoLISP 语言编写的程序不受 AutoCAD 版本的限制,可在任何版本的 AutoCAD 环境中运行,移植性强。

本文采用 AutoLISP 编程方法,基于距离反比加权法和 Delaunay 三角网法插值原理,开发出了一套能进行离散点数据插值、三维实体重构和工程土方量计算的程序。该程序能在 AutoCAD 中通过两种插值方法分别生成四边形和三角形网格,建立三维数字地面模型;同时程序还具有绘制和编辑三维数字地面模型、三维实体重构以及工程土方量计算等系列功能。

### 1 离散点数据的插值算法

对离散点数据进行插值是建立数字地面模型和实体模型的前提。对于离散点数据,往往其数量有限,不能满足精度要求,因此要利用插值算法以适当的插值步长对所得的地形资料进行插值,将得到的网格进一步细化。然后将插值结果转化为网格化的三维资料。对地形资料点的插值有多种算法,如:距离反比加权法、三角网法、克里格法(Kriging)、矩形网格法等。

距离反比加权法具有计算简单和运算速度快的特点,特别适用于大数据量的快速插值。Delaunay 三角网是分析处理数字地面模型的一种重要方法和手段<sup>[7]</sup>。Delaunay 三角形网格具有独特的数学性质,它适用于各种数据分布密度,有利于更新和直接利用各种地形特征信息,直接利用原始数据、保持原有精度,并具有唯一性好、追踪绘制等高线算法简单、适应不规则形状区域等优点,因而被广泛应用于有限元分析、地理信息系统(GIS)、多媒体仿真、虚

拟现实、地学分析和地图综合等领域<sup>[8]</sup>。

#### 1.1 距离反比加权法插值

假设有离插值点  $P$  距离最近的  $N$  个离散点(在  $x-y$  平面内,暂不考虑离散点的  $z$  坐标),为了简化计算,通常取为  $N=4$ 。如图 1 所示,按距离反比加权法插值,插值点  $P$  的高程( $z$  坐标):

$$z = \frac{\sum_{i=1}^N (z_i / D_i)}{\sum_{i=1}^N (1 / D_i)} \quad (1)$$

式中:  $(x_i, y_i, z_i)$  为离散点  $P_i$  的坐标;  $(x, y, z)$  为插值点  $P$  的坐标;  $D_i$  为插值点  $P$  到离散点  $P_i$  的距离 ( $x-y$  平面内的距离)。

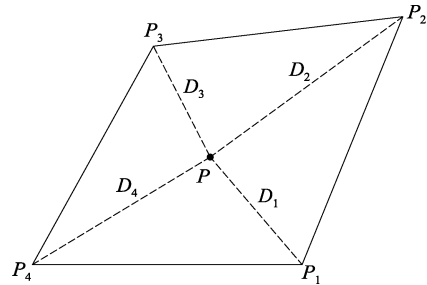


图 1 距离反比加权法插值示意图

#### 1.2 三角网法插值

Lawson 最早提出用逐点插入法建立 Delaunay 三角网,该方法的基本思想是在已经存在的三角网中每次插入一个点,然后重新定义三角网<sup>[9]</sup>。如图 2 所示,在二维情况下(在  $x-y$  平面内,暂不考虑离散点的  $z$  坐标),逐点插入算法的主要步骤描述如下:

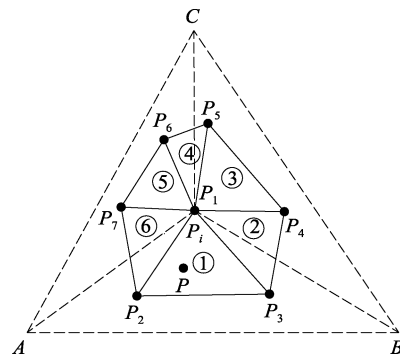


图 2 Delaunay 三角网法插值示意图

1) 求出一个能包含所有离散点(离散点个数为  $N$ )的初始网格,定义初始网格为一三角形  $\triangle ABC$ ;

2) 插入一个点  $P_i (i=1, 2, 3, \dots, N)$ , 在三角网中找出包含点  $P_i$  的三角形  $T$  (点  $P_i$  在三角形的外接圆内), 把  $P_i$  与  $T$  的三个顶点相连, 生成三个新的

三角形( $i=1$ 时,新的三角形为  $\Delta P_1AB$ 、 $\Delta P_1BC$  和  $\Delta P_1CA$ );

3)重复第二步插入下一个点,直到所有点都被插入,删除包含顶点  $A$ 、 $B$  和  $C$  的所有三角形,最终生成二维 Delaunay 三角网。

生成二维 Delaunay 三角网后,利用离散点的  $z$  坐标值和三角网,即可计算平面内某一插值点的高程。如图 2 所示,插值计算过程为:先搜索三角网,找出包含插值点  $P$  的三角形  $\Delta P_1P_2P_3$ ,计算三角形  $\Delta P_2P_3P$ 、 $\Delta P_3P_1P$  和  $\Delta P_1P_2P$  的面积,分别记为  $S_1$ 、 $S_2$  和  $S_3$ ,则插值点  $P$  的高程:

$$z = \frac{z_1S_1 + z_2S_2 + z_3S_3}{S_1 + S_2 + S_3} \quad (2)$$

式中: $z_1$ 、 $z_2$  和  $z_3$  分别为点  $P_1$ 、 $P_2$  和  $P_3$  的  $z$  坐标值。

## 2 数字地面模型和实体的生成

AutoLISP 提供了丰富的以 `vla-add` 开头的绘图函数<sup>[10]</sup>,这些函数比 `command` 命令进行绘图效率要高。在调用这些函数前需进行加载,加载语句为:`(vl-load-com)`。AutoLISP 函数用法可参见 AutoCAD 帮助文档。

### 2.1 网格生成

本文主要用到 `vla-addPolyFaceMesh` 和 `vla-add3Dmesh` 两个函数生成网格,两个函数的用法分别为:(`vla-addPolyFaceMesh ModelSpace VerticesList FaceList`),此函数主要用来绘制多面网格;`(vla-add3Dmesh ModelSpace M N PointsMatrix)`,此函数主要用来绘制四边形网格。其中,ModelSpace 为模型空间对象;VerticesList 为多面网格的顶点坐标数组;FaceList 为多面网格的面索引数组; $M$  和  $N$  分别为四边形网格的  $M$  方向顶点数和  $N$  方向顶点数;PointsMatrix 为四边形网格的顶点坐标数组。对于 Delaunay 三角网可由函数 `vla-addPolyFaceMesh` 绘制;对于规则的矩形网格可由函数 `vla-add3Dmesh` 绘制。

考虑某一具体算例,设某曲面方程为:

$$\begin{aligned} z &= 50 - 0.005(x^2 + y^2) \\ z &\geq 0, -50 \leq x \leq 50, -50 \leq y \leq 50 \end{aligned} \quad (3)$$

如图 3 所示,取曲面上的  $21 \times 21 = 441$  个离散点, $x$  轴和  $y$  轴方向上的插值间距均取为 5,对上述离散点分别用距离反比加权法和三角网法插值。图 3(a)为采用距离反比加权法插值得到的矩形网格,由 `vla-add3Dmesh` 函数绘制;图 3(b)为采用三角网法插值得到的三角网格,由 `vla-addPoly-`

`FaceMesh` 函数绘制。

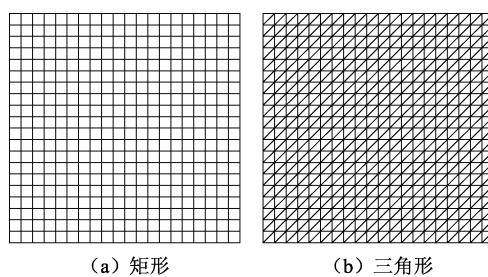


图 3 AutoCAD 中生成矩形和三角形网格

### 2.2 实体生成

实体的生成过程为:先生成三维面域、由三维面域按指定路径拉伸成三维实体,然后对三维实体进行剖切,最后将所生成的三维实体进行布尔操作合并为一个实体。主要用到的 AutoLISP 函数(含参数)分别为:

(`vla-AddRegion ModelSpace ObjectList`);

(`vla-AddExtrudedSolidAlongPath ModelSpace Region Path`);

(`vla-SliceSolid Solid1 Point1 Point2 Point3 Negative`);

(`vla-Boolean Solid1 acUnion Solid2`)。

其中:ModelSpace 为模型空间对象;ObjectList 为待拉伸的三维面;Region 为生成的三维面域;Path 为拉伸路径;Solid1 和 Solid2 为生成的三维实体;Point1、Point2 和 Point3 为剖切面的三个定义点;Negative 指定是否保留剖切面负法向内的实体,Negative=0 不保留,否则保留;acUnion 为布尔操作常量,表示将两个实体合并。

由上述实体生成方法,对图 3 中的网格进行拉伸和合并操作,最终生成三维实体,见图 4。

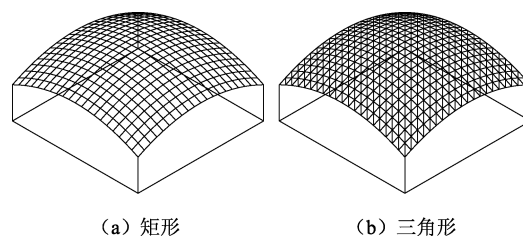


图 4 由矩形和三角形网格生成实体

在 AutoCAD 中可直接量测三维实体的体积,量测上述两种方法生成的实体,体积均为 416 250,采用积分的方法得体积的理论解为 416 667,两者的相对误差不超过 0.1%,且这一误差随着插值间距的减小而不断减小。由此可见,应用上述两种方法

计算工程土方量时,精度较高,同时也说明 AutoLISP 编写的程序的正确性。

### 3 工程应用

本文将上述方法主要应用到工程领域中的土方量计算、桩基工程中的桩长推演。

#### 3.1 土方量的计算

某工程需开挖一山体,对此工程高程点数据采用距离反比加权法插值得到如图 5 所示的矩形网格。

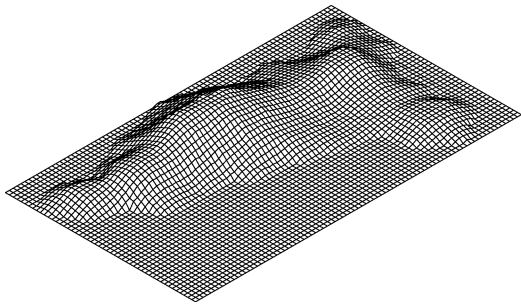


图 5 AutoCAD 中生成矩形网格

采用本文提出的实体生成方法,最终生成一个三维实体,见图 6。

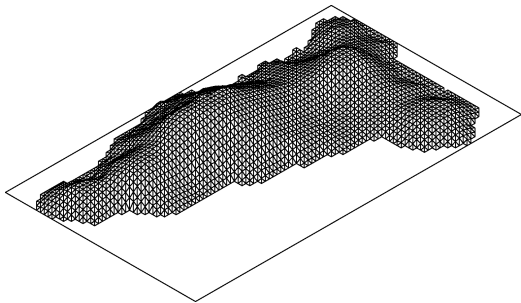


图 6 由矩形网格生成实体

在 AutoCAD 中量测上述三维实体的体积为 822 559 m<sup>3</sup>,即为山体的土方量。

#### 3.2 桩基工程中的桩长推演

某一桩基工程需对桩长进行推演,此工程勘探点的平面布置见图 7,一共有 375 个勘探点。

将此工程勘探点的孔深作为 z 坐标,对勘探点数据采用 Delaunay 三角网生成算法得到如图 8 所示的勘探点的 Delaunay 三角网。

以设计的 4081 个桩位坐标(x, y)为插值点,用上面生成的 Delaunay 三角网进行插值得到如图 9 所示的插值点的 Delaunay 三角网,此网格有 4081 个节点,7782 个三角形面。最后输出插值点的三个坐标,其 z 坐标值即为推演的桩长。

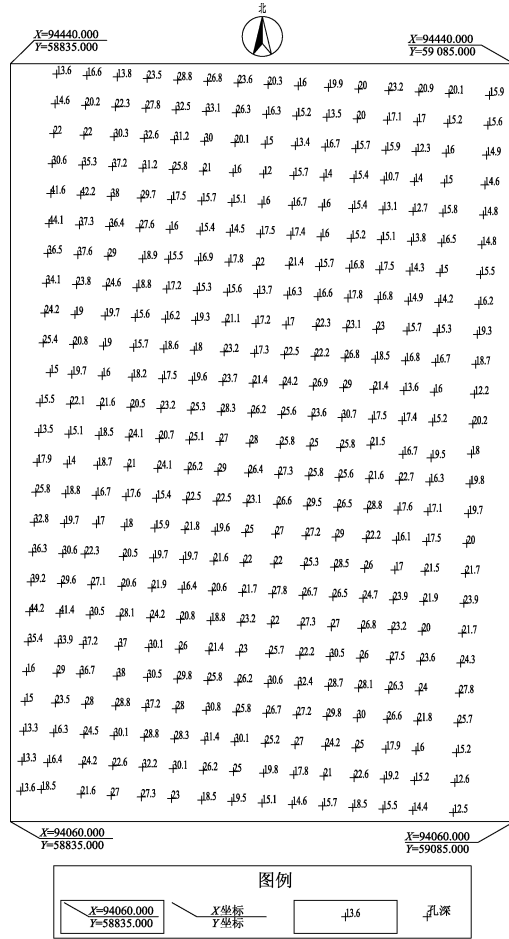


图 7 勘探点平面布置图

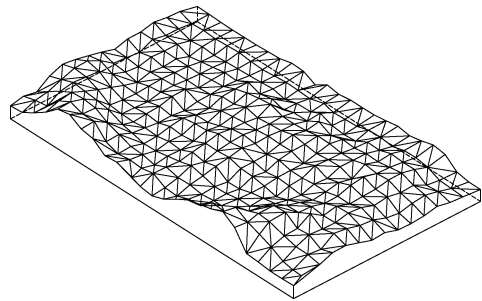


图 8 勘探点的 Delaunay 三角网

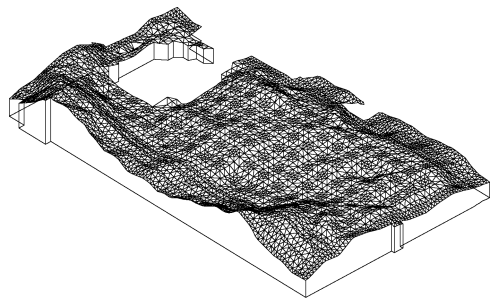


图 9 插值点的 Delaunay 三角网

(下转第 64 页)

盐氮浓度较高,地下水超标较少。

2)研究区东南、西北部地下水氮污染存在不同的污染来源,东南部地下水氨氮的主要污染来源为浑河补给和上游补给,贡献率分别为 61.79%、38.06%;西北部地下水硝酸盐氮的主要污染来源为垂向入渗和上游补给,贡献率分别为 43.92%、27.37%。

#### 参 考 文 献

- [1] 郑艳侠,冯绍元,姜娜,等.北京市北运河流域农业非点源污染类型及贡献率分析[J].中国农村水利水电,2010(8):30-33.
- [2] 李玮,何江涛,刘丽雅,等. Hydrus-1D 软件在地下水污染风险评估中的应用[J].中国环境科学,2013,33(4):639-647.
- [3] Tillotson, W. R., Robbins, C. W., Wagenet, R. J., Hanks, R. J. Soil Water, Solute and Plant Growth Simulation, Bulletin, 502. Utah Agricultural Experiment Station, 1980, 55pp.
- [4] 唐大雄,刘佑荣,张文殊,等.工程岩土学(第二版)[M].北京:地质出版社,1999.
- [5] 马军花,任理.考虑水力学和矿化参数空间变异下

土壤水氮运移的数值分析[J].水利学报,2005,36(9):1067-1076.

- [6] Osvaldo Salazar, Ingrid Wesström, Mohamed A. Youssef, et al. Evaluation of the DRAINMOD-N II model for predicting nitrogen losses in a loamy sand under cultivation in south-east Sweden[J]. Agricultural Water Management 96(2009):267-281.
- [7] Knisel, W. G., Leonard, R. A., Davis, F. M. The GLEAMS model plant nutrient component. In: Knisel, W. G. (Ed.), GLEAMS: Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems. UGA-CPES-BAED Publication no. 5 Coastal Plain Exp. Stn., Biol. And Agric. Eng. Dep. University of Georgia, Tifton, 1993:2-49.
- [8] 沈杨,何江涛,王俊杰,等.基于多元统计方法的地下水水化学特征分析:以沈阳市李官堡傍河水源地为例[J].现代地质,2013,27(2):440-447.
- [9] 王俊杰.沈阳浑河傍河区域地下水氮素污染研究[D].北京:中国地质大学(北京),2013.

收稿日期:2015-01-19

(上接第 58 页)

#### 4 结 语

本文结合实际工程,利用 AutoCAD 软件中的 AutoLISP 编程方法开发出了一套工程数据处理程序。

该程序实现了对离散点数据的插值、三维网格重构和实体模型的生成,并将之应用于实际工程,为工程数据的插值和推演、三维实体重构以及土方量的计算提供了一条便捷之路。

该程序的使用不仅有利于设计人员对工程计算结果的判断和利用,而且有利于设计人员对设计作出及时地调整,从而达到优化工程设计、减少工程费用的目的。

此外,采用本文提出的方法编制的程序具有移植性强、操作方便直观、适用范围广、计算精度高等特点;能大大减轻工程人员的工作强度,提高工作效率,具有重要的工程应用价值。

#### 参 考 文 献

- [1] 李殷,朱益虎. DTM 在土方计算中的应用,地矿测绘[J]. 2006,22(4):33-36.

- [2] 慕永峰,朱昌勇,李建.三角网结构 DTM 的土方计算及应用[J].测绘工程,2000,9(1):52-56.
- [3] 纪凯.基于 AutoCADVBA 的公路施工横断面图的绘制和土方量计算[J].城市勘测,2010(4):133-136.
- [4] 李春梅,景海涛.基于 ArcGIS 的土方量计算及可视化[J].测绘科学,2010,35(2):186-187.
- [5] 周诚,程建川.基于数模的土方计算系统开发[J].交通与计算机,2006(3):57-63.
- [6] 陈道洁,付守默. AutoLISP 及应用开发技术[M].成都:成都科技大学出版社,1997.
- [7] 武晓波,王世新,肖春生. Delaunay 三角网的生成算法研究[J].测绘学报,1999,28(1):28-35.
- [8] 良泽圣.清华大学学术专著——三维数据场可视化[M].北京:清华大学出版社,1999.
- [9] 徐旭,李源,陈学工.一种基于插入法的 Delaunay 三角网生成算法[J].电脑与信息技术,2010,18(4):29-44.
- [10] 苏茜,张丽群. AutoCAD LISP\_VLISP 函数库查询辞典[M].北京:中国铁道出版社,2001.

收稿日期:2014-12-02