

一种快速实现地形图三维实体建模方法

王大志

(中电投云南国际电力投资有限公司, 云南 昆明 650228)

摘 要: 基于 AutoCAD 平台的地形图三维实体建模对现阶段土石方工程精确算量、三维可视化设计非常重要。一般建模过程为利用二维多段线或者三维多段线建立地形图三维网面, 然后拉伸成三维实体, 在此过程中, 易产生 20%~25%退化的不支持拉伸的对象, 这些对象需重新手动建立三角网面域, 然后才能拉伸成实体, 严重影响建模速度。采用 ObjectARX 二次开发技术, 直接通过坐标变换, 利用等高线数据, 调用“boundary”函数来生成不规则三角网面域, 然后建立扫掠、放样建模接口函数, 沿 Z 轴对三角网面域进行拉伸形成立体, 快速实现了地形图三维实体建模。

关 键 词: AutoCAD; ObjectARX; boundary; 实体建模

中图分类号: TP 391.9

DOI: 10.11996/JGJ.2095-302X.2017010023

文献标识码: A

文 章 编 号: 2095-302X(2017)01-0023-05

A Fast Method for 3D Solid Modeling of Topographic Map

WANG Dazhi

(China Yunnan International Electric Power Investment Co. Ltd., Kunming Yunnan 650228, China)

Abstract: Based on the topographic map of 3D modeling of AutoCAD platform, the accurate calculation of 3D visualization design is very important in earthwork engineering at the present stage. The general process of modeling 3D topographic map of a net surface is that a three-dimensional entity is stretched into by using of 2D polyline or 3D polyline. In this process, there are 20%~25% degradation of tensile objects, and it is needed to manually build triangle region, then these objects extruded. This is serious impact on modeling speed. The “boundary” function is called to generate a triangular irregular network area and then a sweep and lofting the interface function along the Z axis of the triangular mesh surface domain stretching formation of the three-dimensional object using coordinate transformation and contour data based on ObjectARX development technology. The fast terrain modeling is realized.

Keywords: AutoCAD; ObjectARX; boundary; solid modeling

地形图的三维建模一直是计算机图形学领域的研究热点。在应用中, 除了利用地形图的三维曲面模型来进行可视化仿真, 工程技术人员更希望建立地形图三维实体模型, 一个好的地形图三维实体模型对辅助设计、数值计算、土方量精确计算等有着非常重要的意义。

目前, 针对土木、水利水电工程, 主要以 Autodesk 公司推出的 AutoCAD 为平台, 进行工程设计、工程量计算、有限元前处理等工作。AutoCAD 提供了二次开发接口, 并利用 ObjectARX、AutoLISP 及 VBA 进行二次开发, 解决建模、参数化设计、工程量计算等问题。自 20 世纪 90 年代以

收稿日期: 2016-07-05; 定稿日期: 2016-09-06

第一作者: 王大志(1980-), 男, 湖北公安人, 工程师, 硕士。主要研究方向为边坡工程三维可视化建模及动态施工。

E-mail: 191596733@qq.com

来, 众多的学者和工程技术人员利用 AutoCAD 二次开发技术进行地形图处理^[1-3], 魏永乐和晁彩霞^[4]在 ObjectARX 中实现了特征建模方法; 王金敏等^[5]利用 ObjectARX 技术实现了扫描、放样建模。

利用 AutoCAD 二次开发技术进行地形图三维实体建模, 常用的方法是通过获取数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据或等高线数据, 生成不规则三角网面, 然后手动调用 AutoCAD 命令生成面域后, 拉伸成三维实体。本文采用基于 AutoCAD 平台的 ObjectARX 二次开发技术, 直接通过坐标变换, 利用等高线数据, 调用“boundary”函数来生成不规则三角网面域, 然后建立扫描、放样建模接口函数, 沿 Z 轴对三角网面域进行拉伸形成立体, 实现了地形图三维实体快速建模。

1 地形图三维实体建模

1.1 生成不规则三角网

1.1.1 地形图数据处理

当前工程上使用较多的地形图大多采用 AutoCAD 来生成和管理数据。在 AutoCAD 中, 等高线数据一般使用二维多段线(AcDb2dPolyline)来表示^[6], 通过提取二维多段线的顶点坐标, 可获得生成不规则三角网的原始数据点。

本文首先根据实际需要确定构网范围, 选取构网范围内的等高线, 存为 DXF 文件, 如图 1 所示。然后利用 ObjectARX 编程读取 DXF 文件, 对等高线数据点进行提取, 并将提取到的原始数据点储存在构网初始变量中, 具体代码如下:

```
CFileDialog
SelectFile(TRUE, T("dxf"), NULL, OFN_HIDER
EADONLY|OFN_OVERWRITEPROMPT, T("DXF
Files(*.DXF)*.dxf所有文件(*.*)*.*"), NULL);
CString txtFileName;
if(SelectFile.DoModal()==IDOK){
txtFileName=SelectFile.GetPathName();
CStdioFile fp;
if(!fp.Open(txtFileName, CFile::modeRead)){
MessageBoxW(T("没有文件!"));
exit(0);}
BOOL bFlag;
CString m_str;
do{
bFlag=fp.ReadString(m_str);//读出一行文本
if(m_str.Compare(T("LWPOLYLINE"))==0||m_str.Com
pare(T("POLYLINE"))==0){
CString rString;
do{
fp.ReadString(rString);
```

```
if(rString==T(" 90")){
fp.ReadString(rString); //读出一行文本
Num_NN[Num_NNTotal]=_tstoi(rString); //得到多段线
顶点的数目
Num_NNTotal++;}
if(rString==T(" 38")){
fp.ReadString(rString); // 读出一行文本
elv[Num_elvTotal]=_tstof(rString); //得到一个顶点的 Z
坐标
Num_elvTotal++;}
if(rString==T(" 10")){
fp.ReadString(rString); //读出一行文本
t[Num_total].x=_tstof(rString); //得到一个顶点的横坐标}
if(rString==T(" 20")){
fp.ReadString(rString); //读出一行文本
t[Num_total].y=_tstof(rString); //得到一个顶点的纵坐标
Num_total++;} }while(rString!=T(" 0")); }
}while(bFlag);
int temp=0;
for(int i=0; i<Num_elvTotal; i++){
for(int j=temp; j<temp+Num_NN[i]; j++){
t[j].z=elv[i]; //获得生成不规则三角网的原始数据点
temp=temp+Num_NN[i];}
```

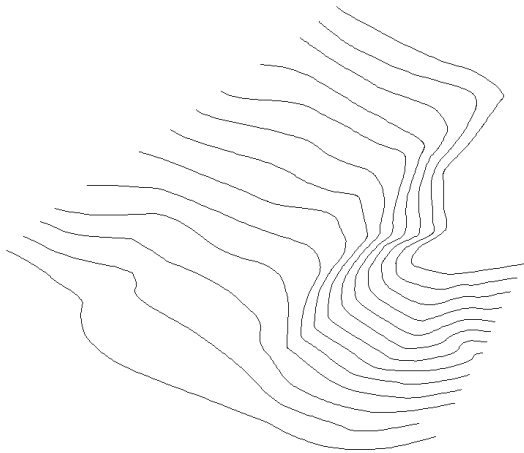


图 1 原始地形图

1.1.2 编程实现构网

不规则三角网的生成, 通常采用 Delaunay 三角剖分法^[7], 该方法具有剖分的唯一性和最接近规则三角形等特性, 非常符合不规则三角网模型要求。实现 Delaunay 三角剖分的方法很多, 有 Lawson 算法、Bowyer-Watson 算法等。本文选用 Lawson 算法, 该算法简单, 易于编程实现。

使用 Lawson 算法进行 Delaunay 三角剖分步骤: 首先建立一个大的三角形或多边形, 将所有数据点包围起来, 向其中插入一点, 并与包含其三角形 3 个顶点相连, 形成 3 个新的三角形, 然后逐一进行空外接圆检测, 同时用 Lawson 设计的局部优

化过程 LOP 进行优化,即通过交换对角线的方法来保证所形成的三角网为 Delaunay 三角网。

ObjectARX 提供了以 C++为基础的面向对象的开发环境及应用程序接口^[8],在该环境中,采用 C++ 语言实现了 Delaunay 三角剖分程序,并访问 AutoCAD 图形数据库,实现了不规则三角网的自动绘制,如图 2 所示。

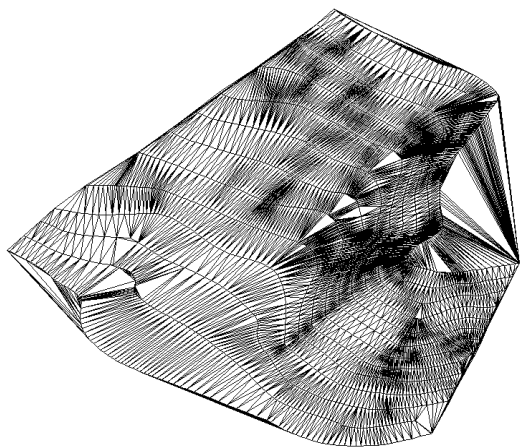


图 2 基于 TIN 的三维网面地形图

1.2 平三角形及凹地形处理

在利用等高线数据生成 Delaunay 不规则三角网的过程中,容易产生平三角形,即三角形的 3 个顶点坐标的 Z 值相等,位于同一等高线上。这与实际地形不符,必须对产生平三角形的区域进行修正,处理方式是将同一条等高线上构网的三角形改为由相邻的等高线构网^[9];对于凹地形区域,采用在等高线中补充特征点的方式进行构网^[10]。处理结果如图 3 所示。

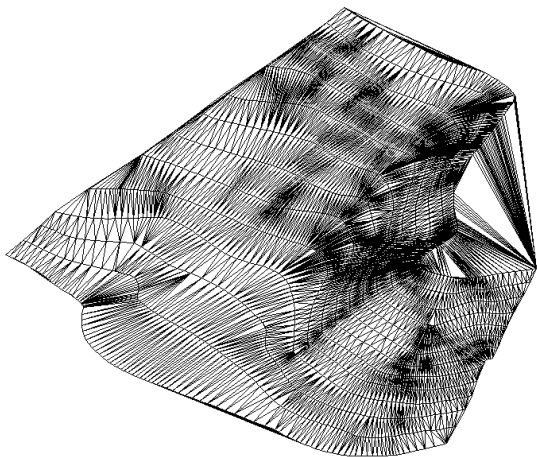


图 3 处理后的 TIN 三维网面地形图

1.3 生成不规则三角网面域

在 AutoCAD 环境中,可以被拉伸的对象很多,

通过拉伸在一个平面内并且封闭的多段线 (AcDbPolyline)、二维多段线 (AcDb2dPolyline)、三维多段线 (AcDb3dPolyline) 生成实体。由于创建多段线函数的变量采用二维坐标,而形成不规则三角形的坐标为三维坐标,因此需对上述二维多段线和三维多段线生成实体的方法进行试验。试验结果显示,由二维和三维多段线构成的三角网区域不稳定,容易生成退化的不支持拉伸的对象,20%~25% 的三角网区域不支持拉伸。如图 4 所示,图中白色三角形区域为构网后,不支持拉伸的二维多段线或三维多段线区域。

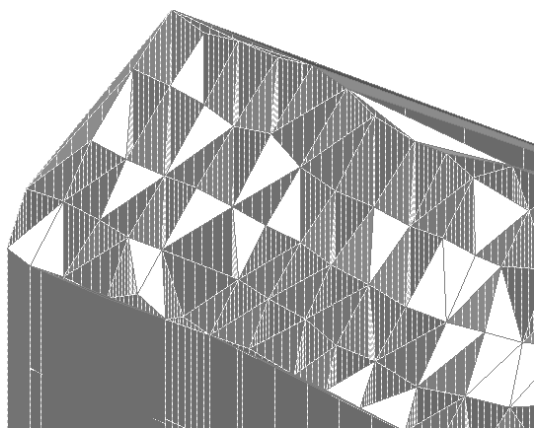


图 4 三维网面产生退化的不支持拉伸的对象

综上所述,在 AutoCAD 环境中,生成的不规则三角网必须为在一个平面内并且封闭的多段线 (AcDbPolyline),才会在执行拉伸命令的过程中,稳定生成三维实体,不会产生退化的不支持拉伸的对象。而一个平面内封闭的多段线是形成面域的必要条件,通过拉伸面域形成三维实体又是最快速、直接的方法,因此编程实现地形图三维实体建模关键的步骤是生成不规则三角网面域。

由于多段线创建函数不支持三维坐标,因此不能采用创建多段线生成面域的方法。本文采用调用“boundary”函数来生成面域,“boundary”函数为平面函数,即只适用于位于 XOY 平面的对象,因此在使用前,需进行坐标变换。首先将坐标变换到三角形所在平面,然后启动“boundary”命令,选择三角形内部一点,形成面域,拉伸面域形成三维实体,结果如图 5 所示,具体代码如下:

```
AcGeMatrix3d mat;//定义坐标变换矩阵, points 为储存
不规则三角形 3 个顶点坐标的数列
AcGeVector3d vecXAxis((points[1].x-
points[0].x),(points[1].y-points[0].y),
(points[1].z-points[0].z));//定义变换后的坐标系 X 轴矢量
```

```

AcGeVector3d vecYAxis;//定义变换后的坐标系 Y 轴矢量
AcGeVector3d vecZAxis;//定义变换后的坐标系 Z 轴矢量
My_normal(vecZAxis,points[0],points[1],points[2]);//Z 轴
矢量为三角形两个边所构成的矢量的叉乘积
vecYAxis=vecZAxis.crossProduct(vecXAxis);//Y 轴矢量为
Z 轴矢量和 X 轴矢量叉乘积
mat.setCoordSystem(points[0],vecXAxis,vecYAxis,vecZ
Axis);//设置坐标变换矩阵
ads_point pt;//定义三角形内部一个点
pt[0]=(points[0].x+(points[1].x+points[2].x)/2.0)/2.0;//给内
部点 X 坐标赋值
pt[1]=(points[0].y+(points[1].y+points[2].y)/2.0)/2.0;//给内
部点 Y 坐标赋值
pt[2]=(points[0].z+(points[1].z+points[2].z)/2.0)/2.0;//给内
部点 Z 坐标赋值
acedSetCurrentUCS(mat);//进行坐标系变换
ads_point pt2;//定义一个当前坐标系的坐标
acdbWcs2Ucs(pt,pt2,Adesk::kFalse);//将所形成三角形
内部的一个点的坐标 pt 变换为当前坐标系下的坐标 pt2
acedCommand(RTSTR,_T("boundary"),RTSTR,_T("A"),
RTSTR,_T("O"),RTSTR,_T("R"),RTSTR,_T("R"),RTPOINT,pt2
,RTSTR,_T("R"),RTNONE);//执行“boundary”命令,生成面域

```

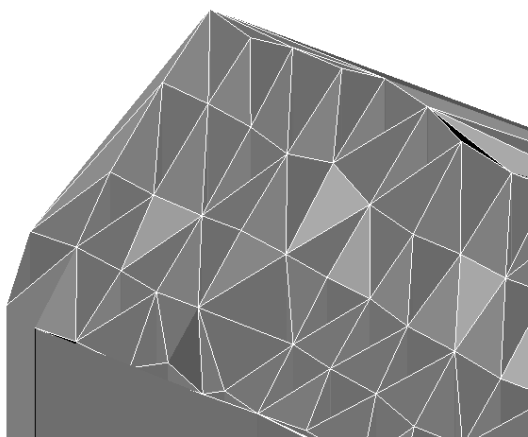


图5 形成支持拉伸的不规则三角网面域

1.4 生成地形图三维实体模型

1.4.1 拉伸面域形成实体

对于工程而言,一般是沿着构筑物高程方向进行建设,高程方向垂直于地面方向,因此拉伸建模是指将封闭二维平面区域沿垂直于地面方向拉伸形成立体,本文采用拉伸建模方法形成实体^[11]。由于先前步骤已形成了面域,因此无需重建面域,只需设定拉伸路径,调用拉伸函数即可形成三维实体。拉伸路径应根据工程实际需要设定,如某工程整体的开挖高度不超过 100 m,可以设置拉伸路径向量为(0,0,-100),即所有不同面域均沿着垂直于地面向下拉伸 100 m。具体代码如下:

```
AcGePoint3dArray points1;
```

```

points1.setLogicalLength(2);
points1[0].x=0.00;
points1[0].y=0.00;
points1[0].z=0.00;
points1[1].x=0.00;
points1[1].y=0.00;
points1[1].z=-100.00;
AcDbObjectId PathId=
My_Create3dPolyline(k3dSimplePoly,
points1,Adesk::kFalse);//指定拉伸路径
AcDbEntity *pPath;
acdbOpenAcDbEntity(pPath,PathId,AcDb::kForRead);
AcDb3dSolid *p3dObj = new AcDb3dSolid();
p3dObj->extrudeAlongPath(pRegion,(AcDbCurve*)pPath
);//沿 Z 轴方向向下拉伸 100 m 生成实体

```

1.4.2 合并实体

将拉伸形成的实体合并,采用三维实体的布尔运算函数“booleanOper”,可以实现 2 个实体之间的并集、交集和差集^[12],对 2 个实体进行布尔运算的方法如下:

设已创建的 2 个实体为 pS1, pS2。

```
pS1->booleanOper (AcDb::operation, pS2);
```

如果函数调用成功, pS1 将指向经过布尔运算生成的新的实体,而 pS2 所指向的实体将从数据库中删除。实体合并的实现过程为反复调用该函数,由拉伸面形成的各个三维实体合并成一个整体,最终合并后生成的三维实体如图 6 所示。

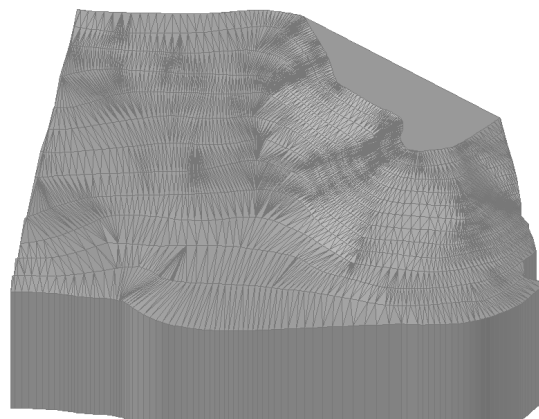


图6 地形三维实体模型

2 工程应用实例

打挂山风电场北部场区道路土石方施工现场,工程涉及到渣场的选址,需精确计算渣场回填容量,因此采用本文方法,以 3 号渣场为例。根据现场实地踏勘情况,建立了 3 号渣场地形三维实体模型(图 7),然后根据渣场回填坡比建立渣场的回填实体模型(图 8),并通过查询回填实体模型的体积,

得出了渣场回填容量为 $263\,000\text{ m}^3$, 而该段道路 5 km 范围内的设计开挖量为 $247\,000\text{ m}^3$, 该渣场容量可满足要求, 而且运输距离短, 将此处设为渣场经济合理。3号渣场地形三维实体模型的建立, 从原始地形数据提取到最后模型完成花费时间约为 30 min , 大大节省了设计工作时间, 提高了工作效率。

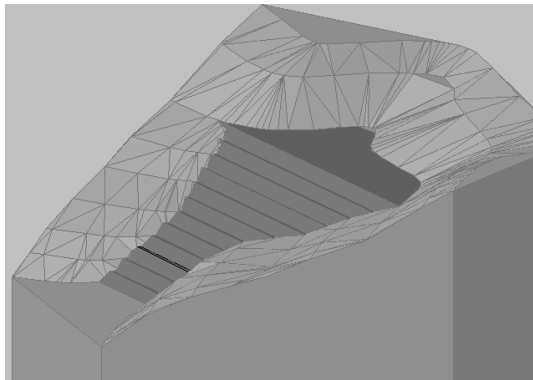


图7 渣场地形三维实体模型

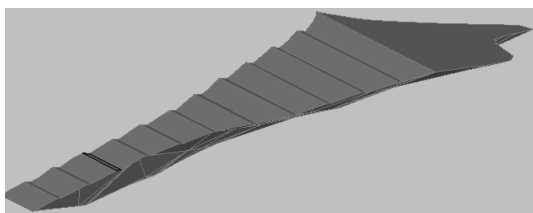


图8 回填实体模型

3 结束语

本文提出的地形图三维实体建模方法, 基于 AutoCAD 平台的 ObjectARX 二次开发技术, 通过编程快速实现了地形图三维实体自动化建模, 三维实体建模工作大为简化, 仅用数小时就能完成以往数周的工作量, 极大降低了工作强度, 提高了工作效率。同时在 AutoCAD 环境中, 可以直接对地形

图数据进行利用, 避免了重复性的数据处理工作。

该方法在以下2个方面有待完善:

(1) 三维实体模型未按照地层性质分层建模, 以后可根据地质勘察信息进行分层建模研究。

(2) 本文所创建的三维实体模型还是一个原始地形模型, 今后应考虑根据工程进展, 快速建立开挖和回填后的实体模型。

参考文献

- [1] 周显华. AutoCAD 三维建模与 AutoLISP 编程在复杂体型工程量计算中的应用[J]. 科技资讯, 2011(18): 53.
- [2] 郑文棠, 徐卫亚, 童富果, 等. 复杂边坡三维地质可视化和数值模型构建[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(8): 1633-1644.
- [3] 罗希, 申明亮, 卞小草. Visual Basic 在亚碧罗水电站大坝施工三维建模中的应用[J]. 水电能源科学, 2008, 26(4): 122-124.
- [4] 魏永乐, 晁彩霞. 基于 ObjectARX 实现特征建模的方法[J]. 工程图学学报, 2010, 31(6): 92-99.
- [5] 王金敏, 崔奇, 方沂. 一种基于 ObjectARX 技术的扫描体求解算法[J]. 工程图学学报, 2005, 26(6): 11-15.
- [6] 张洁. ObjectARX 技术在三维地表建模中的应用[J]. 计算机与现代化, 2010(11): 146-148.
- [7] 吴昭华. 地形图自动三维建模系统开发研究[D]. 南京: 南京大学, 2010.
- [8] 李长勋. AutoCAD ObjectARX 程序开发技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 7-8.
- [9] 孙文彬, 刘希亮, 栾晓慧, 等. 顾及等高线和凹边界特征的不规则三角网生成方法[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(4): 50-52.
- [10] 刘庆元, 易柳城, 刘莉. 一种以等高线为特征线的不规则三角网的生成方法[J]. 矿山测量, 2012(3): 13-15.
- [11] 朱德荣. 箱梁三维实体自动建模方法研究[J]. 铁道标准设计, 2014, 58(3): 54-58.
- [12] 李世国. AutoCAD 高级开发技术-ARX 编程及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999: 189.