

# 基于网格 DEM 的自适应等值线图及 UG 实现

*An Adaptive Contour Diagram Base on Grids DEM and implement of UG*

(湖南大学) 宋敏 张见明 覃先云

SONG Min ZHANG Jian-ming QIN Xian-yun

**摘要:** 本文结合不规则三角网格法与规则矩形网格法对等值线追踪的优缺点,在矩形网格法的基础上,提出基于网格单元的等值线自适应算法来克服线性插值造成折线的缺点。由绘图区域边界与等值线端点的相关性形成连通区域,根据连通区域的值赋予对应的颜色,最后填充所有的连通区域完成等值线图的绘制。通过 UG 二次开发编写出在 CAD 模型上直接显示等值线图的软件包。温度场数值算例的显示结果表明不仅等值线自适应算法取得很好的显示效果,而且等值线取得了可控制的光滑效果。

**关键词:** 等值线; 矩形网格; 二次开发; 自适应

**中图分类号:** T                      **文献标识码:** A

**Abstract:** For the shortage that broken line would be created when the linear interpolation was taken, coupled the irregular triangular grid method with regular rectangular grid method on the advantages and disadvantages of contour tracking, and based on the rectangular grid method, some self-adaptive algorithm using grid subdividing was presented in this paper. Connect region is established by the relativity between the boundary and the endpoints of contour, and then is filled by the color corresponding the value of region. The class for plotting the contour in UG was developed. Numerical examples show that not only the program provides excellent visual effects, but also the governable smooth of the contour can be obtained.

**Key words:** contour; rectangle grid; second development; self-adaptive

技术创新

## 1 引言

在数值模拟的后处理中,采用可视化技术将计算结果用形象化的图像表示,可在短时间内通过图形传递大量的信息,使研究人员能够直观、迅速地观察到计算模拟结果,从而大大减少工作量,提高工作效率。形象化的图像通常是指等值线图。常规的等值线绘制方法分为不规则三角网格法与规则矩形网格法。前者运用 Delaunay 三角法,直接利用离散高程数据点生成三角形网格,然后在三角形网格单元边上内插出各条等值线上所有的等值点,最后连接成光滑的曲线。该法保持数据原有精度,但是外推性差。后者将原始数据点按横、纵坐标的最大值及最小值构成矩形网格的边界,然后将矩形划分成小矩形形成矩形网格。通过插值算法得到每个网格点的高程值。最后通过三象限扫描法进行等值点追踪,将等值点连接成曲线。该法克服了等值线分布不合理的特点,外推性好,但是通过插值计算网格点的高程值时,造成原始数据点附近的数据失真,影响等值线分布的准确性。本文结合上述两种方法的优缺点,采用矩形网格法绘制等值线,在等值点的追踪过程中加入基于网格细分的自适应算法,加密局部等值点,并且在细分后的节点上重新计算高程值,使矩形网格逼近真实值;然后由绘图区域的边界与等值线的相关性,建

立等值线间的拓扑关系;最后进行 UG 二次开发,在 UG 中实现等值线图的绘制与填充。

## 2 等值线自适应原理

等值线自适应原理建立在网格细分的基础上,包括四个方面的内容:(1)判断是否进行等值线自适应;(2)局部网格的细化;(3)在细化后的网格进行等值线的追踪;(4)判断等值线自适应是否结束。依据网格单元内的相邻等值线间的斜率变化程度判断是否需要等进行

值线自适应。网格单元的细化首先找到网格的中心点和各个网格边的中点,然后将相邻的四个点形成新的小网格。若其中的某个或几个网格仍不满足网格细化结束的条件,将继续对不满足条件的网格在进行细化,直至满足条件为止。网格的追踪将得到两条线段,以这两条等值线的斜率变化的程度判断是否需要继续对网格进行细化。整个自适应过程就是如此反复迭代的过程,因此需要用到递推算法。其步骤如下:

2.1 网格单元等值线自适应的起始判断:对当前单元进行等值线搜索,得到初始单元内三个等值点。将此三个等值点连接成相邻的等值线段,接下来计算这两条等值线间的夹角余弦值(利用余弦在 0~180 度的单调性)。余弦值大于给定值即需要对当前网格单元进行等值线自适应,执行 2.2;反之,则不进行等值线自适应,跳出。

2.2 网格单元的细化:通过当前单元的四个顶点的参数坐标计算出该单元的中心点与该单元四条边的中点参数坐标。并利用原始数据重新求出各个节点的物理值。从而形成五个新的网格点数据,然后将相应的四个点组成新的网格单元。

2.3 网格单元细化后的等值点的追踪:根据对当前单元的初

宋敏:硕士研究生

基金项目:教育部长江学者与创新团队发展计划项目资助(531105050037);湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室自主研究课题(60870003)项目资助;国家自然科学基金资助项目资助(10972074);国家 863 计划资助项目资助(2008AA042507)

始搜索标记等值线进入与走出的单元边,并记录其边上等值点的参数坐标。然后求出等值线进入单元边的两个端点的公共参数坐标  $t_1$  或  $t_2$ ,对细分后的单元进行遍历找到与  $t_1$  或  $t_2$  具有相同公共边的单元,即为细分后的当前单元。对该单元进行步骤 2.1。

2.4 判断网格单元自适应的结束:对每个当前单元中所求出的等值点计算夹角余弦值。如果余弦值大于给定值 ( $\text{PRECISE} = -0.9993$ ),返回步骤 2.2;反之,将等值线走出边设定为当前边,再由当前边找到下一个当前单元,转到步骤 2.1,直至当前边的共参数  $t_1$  或  $t_2$  为最初单元所标记的等值线走出单元边  $t_1$  或  $t_2$  相等才结束。

### 3 等值线的搜索

通过等值点的追踪实现等值线的搜索。等值点的追踪分两步完成:第一步确定等值线进入网格时的走向;第二步确定等值线进入网格后出去的走向。等值线在网格中的走向分别包括自上而下、自左向右、自下而上、自右向左。通过序号判别自上而下、自左向右;通过等值点相对坐标位置来判断自上而下、自右向左。等值线进入网格后,从另外三个方向出去。找到该网络的第二个等值点相对应的相邻网格,即为下一次等值点追踪的当前网格。

#### 3.1 等值线的搜索

3.1.1 由等值线的起始点位置,获得当前网格边与网格单元;

3.1.2 对当前网格进行等值点追踪与等值线自适应;

3.1.3 将下一次等值点追踪的网格设置为当前网格;

3.1.4 重复 3.2.2、3.2.3,直至等值线到达绘图区域的边界或者回到起点位置,一条等值线的搜索才算结束。

3.1.5 对每一条等值线重复 3.2.1、3.2.2、3.2.3、3.2.4。

3.2 等值线分支的确定 在上述等值线的追踪算法中,加入一个布尔数组,且其下标与网格单元序号对应。在对每个等值线进行搜索之前,先将该数组所有元素标记为未搜索,然后在等值线追踪时将等值线所经过单元的序号记下。最后找到单元序号所对应布尔数组中的元素标记为已搜索。在一条等值线段或多条等值线段搜索结束后,如果布尔数组中的元素还有标记为未搜索,那么将继续对未搜索的单元寻找等值线起点,搜索过后并标记为已搜索。直至所有单元序号所对应的布尔数组元素均为已搜索,才追踪下一个等值线值的等值线段。

### 4 填充云图

4.1 云图填充区域的确定 填充区域分为闭合区域和非闭合区域。

4.1.1 闭合区域的形成 一条闭合等值线就是一个闭合区域,所有闭合等值线形成一个闭合区集合。在等值线搜索时,闭曲线的起始点就是整个区域的一侧(一般为左侧或者为右侧)。从而可以由闭曲线的起始点的横坐标大小对所得到的比闭合区集合进行排序。同心区域中的内部闭合区域将排在外部闭合区的后面。于是采用按顺序填充时内部闭合区将得到不同于它外部的颜色。

4.1.2 非闭合区域的形成 首先,将所有开曲线的起始点、终点及绘图区域的顶点构成一个点的集合(重合的多个点只记为一个,设该集合共有  $n$  个点)。开曲线的追踪是从绘图区域的边界上开始与结束的,所以形成该集合中的点必定落在绘图区域

的边界上。然后将该集合中的点,依据坐标按逆时针的方向进行排序。将排序后的点,按照相邻两点组成一条线段的原则,由点的集合得到线段的集合。其中线段的方向也为逆时针方向。第  $n$  点与第一点组成第  $n$  条线段。通过这个过程将绘图区域的边界分割成  $n$  条逆时针方向的小线段。最后,在线段集合中取出第一条线段,标记为已使用,并在等值线的集合中,寻找以此线段的终点为端点的等值线。等值线具有不相交的性质,必定存在这样一条等值线。再以这条等值线的另一端点为目标,在线段集合中寻找以此端点为起点的线段,同将该线段标记为已使用。接着继续寻找下一条以该线段为端点的等值线,……,如此循环,直至找到以起始点为端点的线段或者等值线为止。这样形成了一个闭合连通区域,即非闭合区。完成一个区域后,再取下一条线段,重复上一步,形成新的非闭合区。将所有未使用的线段遍历完,才将绘图区域范围内的所有非闭合区形成完毕。

4.2 填充区域颜色的确定 由于等值线进行追踪时取的高程值间隔一致(相差为  $L$ ),所以对于任意一个连通区域而言,围成它的所有等值线的高程值只有两个且相差为  $0$  或  $L$ 。如果一个连通区域只拥有一个等值线的高程值,就将该区域的值定为等值线的高程值。如果一个连通区域有两个不同的等值线的高程值,则将该区域的值取为两个不同高程值的平均值。如果一个连通区域没有等值线,则说明该绘图区域只有闭曲线,所以该区域的颜色只要不同于闭合区的颜色就可以。最后把所有连通区域的值进行排序,同时选取一组渐变色,使之与值一一对应。接着对所有的连通区域填充颜色就完成了等值线的区域填充。

### 5 功能实现

该算法通过在 UG 上进行二次开发实现。该软件 Contour 采用 UG/OpenAPI 内部程序,调用其标准入口函数  $\text{ufusr}()$  而运行,实现了直接在 UG 的 CAD 模型上绘制和填充等值线图。为检验等值线自适应算法对开曲线和闭曲线的有效性,以矩形面上的等值线为例。如图 2.a,b 所示的高程值函数为:  $\text{value}_1 = x+y+z$ ,常规方法绘制出的等值线如图 2.a 所示,应用自适应算法后等值线如图 2.b 所示。图 2.c,d 所示的高程值函数为:  $\text{value}_2 = (x-1)^2 + (y-1)^2 + (z-1)^2$ 。常规方法绘制的等值线如图 2.c 所示,改进后的等值线如图 2.d 所示。图 2 中的开曲线和闭曲线经过等值线自适应追踪后,等值线的光滑效果获得明显改善。通过试验得出当余弦值取  $-0.9993$  时,无论是开曲线还是闭曲线均取得满意的光滑效果。

本算法已经成功与计算稳态温度场的杂交边界点法软件相接,作为该软件的后处理部分。图 3 就是应用该软件计算某一立方体温度场的显示结果。从图中可以看出显示结果的效果令人满意。

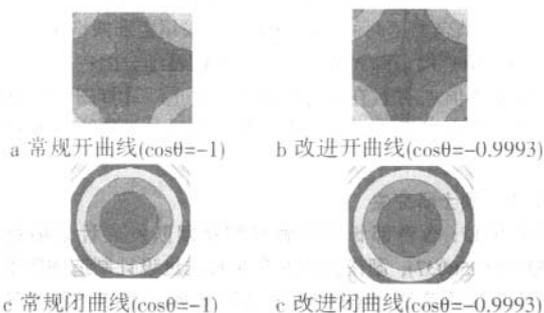


图 2 等值线对比

(下转第 214 页)

的检查督导,对教师的教学质量在一定程度上有促进作用。

本文作者创新点:本文从教师教学质量评估系统的系统设计、体系结构入手,详细论述了系统设计思路、系统功能模块以及系统工作流程,并对教学质量评估系统的用户、静态结构、行为交互次序及数据变换进行分析。

#### 参考文献

- [1]武彤,王秀坤.基于BP神经网络的教学质量分析评估模型研究[J].微计算机信息,2009,3-3:229-231
- [2]王晨,丁振国,张静颐.远程教育教学质量评估系统设计与实现[J].计算机教育,2008,2(16):77-80,76
- [3]汪旭晖,黄飞华.基于BP神经网络的教学质量评价模型及应用[J].高等工程教育研究,2007,(5):78-81
- [4]PQin Li, PHuibiao Zhu, PJifeng He. An Inconsistency Free Formalization of B/S Architecture [C].Mar. 2007 Proceedings of the 31st IEEE Software Engineering Workshop.75 - 88
- [5]徐淑顾,孙永强.并行数据库实时多版本并发控制协议性能研究[J].计算机学报,2002,25(2):173-180

- [6]Arjun Dasgupta, Vivek Narasayya, Manoj Syamala. A Static Analysis Framework for Database Applications [C]. 2009 IEEE International Conference on Data Engineering,1403-1414
- [7]Atul Adya, PJose A. Blakeley, Sergey Melnik, ect. Anatomy of the ADO.NET entity framework [C].Jun. 2007 Proceedings of the 2007 ACM SIGMOD international conference on Management of data.2007,877-888
- [8]PPablo Castro, Sergey Melnik, Atul Adya. ADO.NET entity framework : raising the level of abstraction in data programming [C]. Jun. 2007 Proceedings of the 2007 ACM SIGMOD international conference on Management of data,2007,1070-1072

作者简介:刘付民(1976-),男(汉族),河南理工大学现代教育技术中心,工程师,硕士,主要从事多媒体技术方面的研究。张治斌(1953-),男(汉族),河南理工大学 计算机科学与技术学院,教授,主要从事计算机测控技术、数据库技术、计算机网络等方面的研究。

**Biography:**Liu Fu-min (1976 -), male (Han), Modern Education Technology Center, Henan Polytechnic University, engineer, master, mainly engaged in the research of multimedia technology. Zhang Zhibin (1953 -), male (Han), School of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University, Professor, is mainly engaged in computer measurement and control technology, database technology, computer networks and so on.

(454000 河南焦作 河南理工大学现代教育技术中心) 刘付民  
(454000 河南焦作 河南理工大学计算机科学与技术学院) 张治斌  
(Modern Education Technology Center, Henan Polytechnic University, Henan Jiaozuo, 454000, China) LIU Fu-min  
(School of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University, Henan Jiaozuo, 454000, China)

ZHANG Zhi-bin

通讯地址:(454000 河南焦作 河南理工大学现代教育技术中心) 刘付民

(收稿日期:2010.08.27)(修稿日期:2010.10.20)

(上接第182页)

## 6 总结

采用局部网格加密的方法,既避免了因全部网格变小所带

来的效率消耗,又避免因局部网格粗大造成等值线拐点多,过渡处不光滑的问题。利用UG的函数/类库支持,调用UG自带的函数可以减少程序代码的编写。在CAD软件中尝试实现CAE的某些功能,通过二次开发为实现CAD/CAE无缝连接探索新路。

本论文的创新点:本文结合不规则三角网格法与规则矩形网格法对等值线追踪的优缺点,在矩形网格法的基础上,提出基于网格单元的等值线自适应算法来克服线性插值造成折线的缺点。在UG的软件中通过二次开发实现该算法,取得满意效果。

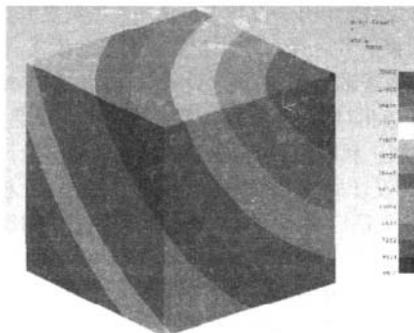


图3 边界点法求得温度结果(qx)

#### 参考文献

- [1]王璋奇,安利强,王孟.有限元分析结果的可视化处理方法[J].工程图学学报,2002,1(72).
- [2]武晓波,王世新. Delaunay三角网的生成算法研究[J].测绘学报,1999,1(2).
- [3]赵文芳.离散点集Delaunay三角网生成算法改进与软件开发[J].测绘工程,2003,12(4).
- [4]宋丽娟,龚晓峰,钟猛.基于网格法的等值线绘制方法[J].现代电子技术,2005,14(65).
- [5]韦美雁,牡丹蕾.基于规则网格的等值线的生成研究[J].湖南科技学院学报,2007,28(39).
- [6]管倩倩,王飞,陈丽娜.利用散乱采样点绘制光滑等值线的误差分析[J].微计算机信息,2006,11(03):2-5.
- [7]莫蓉,常智勇,刘红军,杜微.图表详解UGNX二次开发[M].北京:电子工业出版社,2008.
- [8]黄翔,李迎光.UG应用开发教程与实例精解[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [9]张见明.一种新的边界类型无网格法—杂交边界点法[D].北京:清华大学,2002.

作者简介:宋敏,男,1985年2月,汉族,硕士研究生,机械工程专业,现主要进行科学计算可视化的研究;张见明,男,1965年9月,汉族,博士,教授,机械工程专业,现主要进行计算力学的研究;覃先云,男,1981年11月,土家族,博士研究生,机械工程专业,现主要进行边界元及无网格法研究。

**Biography:**SONG Min, male (Han), born on Feb 7th 1985, the Han nationality, Graduate students, Mechanical engineering, Work on Visualization in scientific computing.

(410008 长沙 湖南大学汽车车身先进设计与制造国家重点实验室) 宋敏 张见明 覃先云

(State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body, Hunan University, Changsha, 410082, China) SONG Min ZHANG Jian-ming QIN Xian-yun

通讯地址:(410082 湖南大学机械与运载工程学院) 宋敏

(收稿日期:2009.12.15)(修稿日期:2010.03.15)