

基于 Arc/info 的电压等高线的实现及应用

王杰¹, 吴琴², 樊淑丽¹, 王康元¹

(1. 浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027; 2. 杭州大有电力科技有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要: 为了得到电力系统运行数据的全局宏观信息, 需要将电力系统的节点运行数据转换为等高线来显示。以 Arc/info 为开发平台, 提出电力系统节点电压等高线可视化的实现方法, 将地理信息与电力系统节点运行数据相结合, 先将地理上随机分布的节点转换为规则格网, 再利用规则格网法生成电压等高线。最后也利用不规则格网法 (TIN) 生成等高线, 以做效果和精确度的比较, 并且已在河南省调度中心的 GIS 系统中应用该等高线系统。

关键词: 等高线; GIS; Arc/info; 规则格网法; 空间插值

Implementation and application of voltage contour based on Arc/info

WANG Jie¹, WU Qin², FAN Shu-li¹, WANG Kang-yuan¹

(1. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Hangzhou Dayou Electric Power Technology Co., Ltd, Hangzhou 310000, China)

Abstract: In order to get the macroscopically situation of data in power system, it's necessary to convert nodal data to contour. This paper introduces how to implement the visualization for nodal voltage contour based on Arc/info developmental platform. By combining geographical information with nodal operation data of power system, firstly, the nodes which randomly distribute on geography should be converted to grid, and then produces voltage contour by using grid method. lastly, in order to compare the result, a contour using TIN method is also produced. And this contour method is also used by the GIS system of Power System Dispatching center in HENAN province.

Key words: contour; GIS; Arc/info; grid method; spatial interpolation

中图分类号: TM76

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)09-0056-04

0 引言

电力系统的运行数据可以通过可视化技术提供一个系统运行的全局宏观信息, 从而提高电网运行的预警能力。可视化与数据库平台等联系起来能够为电网参数的管理提供更加强大的工具。近年来在电力系统信息可视化管理中引入地理信息系统 (GIS) 概念, GIS 能为可视化的实现提供很好的技术平台。

电力系统是一个大型的网络, 系统在运行中产生大量诸如电压、电流、功率等实时数据, 若这些数据以数字的形式在电力系统主接线图或地理接线图上显示, 运行管理人员就会被淹没在海量的枯燥数据中。节点运行数据的可视化方法通常有温度计法、直方图法等。温度计法和直方图法是对单一节点数据的二维可视化, 对于大型网络, 这种可视化方法不仅显示效果不明显, 更重要的是它不能给出参数的区域分布情况, 而后者往往能揭示现象的本质。使用等高线的可视化方法能够解决这一困难。

本文以 ERIS 公司的 Workstation ARC/INFO8

为开发平台, 提出电力系统节点运行数据等高线可视化的实现方法, 将地理信息与电力系统节点运行数据相结合, 先将地理上随机分布的节点通过空间插值方法转换为规则格网, 再利用规则格网法生成节点运行数据的等高线, 同时也利用不规则格网法 (TIN) 生成等高线, 以便二者做比较。等高线的生成过程如图 1 所示。

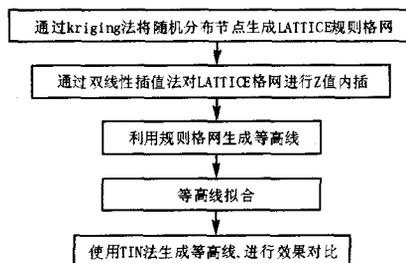


图 1 等高线生成的步骤

Fig.1 Process of the contour's implement

1 栅格数据结构及网格构成

本文是以 ERIS 公司的 Workstation ARC/INFO8

8.0 为开发平台的,因此,有必要介绍一下 ARC/INFO 表面模型的基本概念。

TIN 是 ARC/INFO 提供的一个表面模型包,可以用来生成、存储、分析和显示表面信息。TIN 是个缩写词,意即三角形的不规则网络,更详细的解释是由不规则分布的空间点计算得到的一组相邻的、互不重叠的三角形。TIN 软件包支持两种表面数据模型 TIN 和 LATTICE 模型。TIN 和 LATTICE 模型都是对现实世界表面的数字的抽象或近似的表达。TIN 模型基于空间不规则分布的点、线、多边形数据来表达表面。LATTICE 模型基于空间规则分布的矩形阵列点来表达表面。

LATTICE 是一个 GRID 的表面解释,由一组等间距的采样点表示,这些点具有公共的原点,在 X、Y 方向上有相同的采样距离。每个网格点包含了其位置的 Z 值,并参照一个公共基准面——海平面。LATTICE 网格点之间的表面 Z 值,可以通过 LATTICE 内插得到。

LATTICE 表面数据模型包含两种基本组成成分,由原点、采样点个数、采样点间距构成的头信息;Z 值矩阵。注意,LATTICE 模型没有存储每个采样点的 X、Y 值,它们可以通过原点和采样点间距计算出来。

2 空间插值方法

空间位置上越靠近的点,越可能具有相似的特征值;而距离越远的点,其特征值相似的可能性越小,这是空间插值技术最基本的理论假设,在此基础上形成了各种各样的插值方法。一般地,以下情况会用到空间插值^[6]:(1)现有的离散曲面的分辨率,像元大小或方向与所要求的不符,需要重新插值;(2)现有的连续曲面的数据模型与所需的数据模型不符,需要重新插值。如将一个连续的曲面从一种空间切分方式变为另一种空间切分方式,从 TIN 到栅格、栅格到 TIN 或矢量多边形到栅格;(3)现有的数据不能完全覆盖所要求的区域范围,需要插值。如将离散的采样点数据内插为连续的数据表面。

进行空间插值时,一般包括以下过程:(1)空间插值数据源的获取;(2)对数据进行分析,找出源数据的分布特性、统计特性,便于选择最恰当的插值方法;(3)插值方法的选择并进行插值计算;(4)对插值结果的评价;(5)运用多种插值方法进行计算,对各种方法的插值结果进行比较、分析并选择最佳的插值方法。

我们采集到的原始数据只是在地理上随机分布的离散点,不可能完全覆盖所要求的区域范围,需

要内插为连续的数据表面。Arc/info 提供的连续数据的内插方法主要有线性内插、双线性内插、QUINTIC 内插、三次曲线卷积法以及 Kriging (克力格)内插。其中对于 LATTICE 主要使用的是双线性内插法,而对于随机分布点的图层使用的是 Kriging 内插法。

2.1 双线性插值法

根据四个最近的(基于这些点的加权距离)输入格网点的值计算输出格网点的值。下面的例子(如图 2)说明了双线性内插如何计算 LATTICE 上一点的 Z 值。

首先,Y 轴上的两个中间点的 Z 值通过线性插值来计算。

Y 轴上的左中间点计算为:

$$1035 + \left[\left(\frac{22.44}{30.00} \right) \times (1041 - 1035) \right] = 1039.49$$

Y 轴上的右中间点计算为:

$$1048 + \left[\left(\frac{22.44}{30.00} \right) \times (1060 - 1048) \right] = 1056.98$$

通过在上和下中间点的之间的线性插值计算得到点的 Z 值:

$$1039.49 + \left[\left(\frac{22.25}{30.00} \right) \times (1056.98 - 1039.49) \right] = 1052.46$$

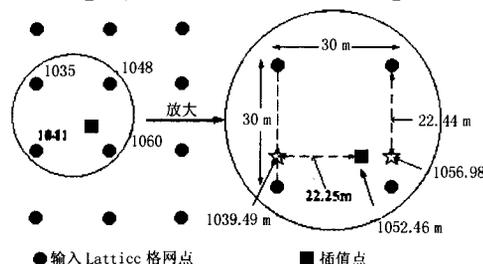


图2 双线性插值计算方法

Fig.2 Theory of bilinear interpolator

2.2 Kriging 内插法

Kriging 插值法由南非地址学家克力格 (D. G. krige) 于 1951 年提出,1962 年法国学者马特隆 (G. Matheron) 引入区域化变量概念,进一步推广和完善了 Kriging 法^[4]。该法充分吸收了地理统计的思想,认为任何在空间连续性变化的属性是非常不规则的,不能用简单的平滑数学函数进行模拟,可以用随机表面给予较恰当的描述。地理统计方法为空间插值提供了一种优化策略,即在插值过程中根据某种优化准则函数动态地决定变量的数值。Kriging 插值方法着重于权重系数的确定,从而使内插函数

处于最佳状态, 即对给定点上的变量值提供最好的线性无偏估计。

Kriging 内插的一般公式为:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i), \text{ 其中, } Z(x_i) (i=1, \dots, n)$$

为 n 个样本点的观测值, $Z(x_0)$ 为待定点值, λ_i 为权重, 权重由 Kriging 方程组

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda_i C(x_i, x_j) - \mu = C(x_i, x_0) \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases}$$

决定, 其中, $C(x_i, x_j)$ 为测站样本点之间的协方差, μ 为拉格朗日因子。插值数据的空间结构特性由半变异函数描述, 其表达式为:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_i + h))^2$$

其中: $N(h)$ 为被距离区段分割的试验数据对的数目, 根据试验变异函数的特性, 选取适当的理论变异函数模型。根据试验半变异函数得到的试验变异函数图, 从而确定出合理的变异函数理论模型。基本的变异函数理论模型包括有基台值的理论模型和无基台值的理论模型。有基台值的理论模型包括: 球状模型, 空间相关随距离的增长逐渐衰弱, 当距离达到某一值时, 空间相关消失; 指数模型, 空间相关随距离的增长以指数形式衰减, 相关性消失于无穷远; 高斯模型, 空间相关随距离的增长而衰减, 相关性消失于无穷远; 线性模型, 空间可变性随距离的增长而呈线性地增长^[7,8]。无基台值的理论模型包括: 幂函数模型和对数模型。

3 等高线的生成及拟合

3.1 等高线的生成

通过规则格网的转换及空间插值之后, 格网点高程就是原始采样点的派生值。现在可以利用将平面上高程相等的各邻点所联成的闭合曲线形成等高线。

Arc/info 中的线元素称为 line, 或者 arc; 点元素有两类: node 点和 vertex 点。前者表示线的端点或者线的交点, 后者表示的是线的折点 (vertex)。同时有如下约束, 线 (line) 起始于结点 (node) 并且终止于结点。

等高线弧段所含折点数通常多于实际所需的, 并且太多的折点会影响生成等高线的效率。Arc/info 在生成等高线时, 使用了 Douglas-Peucker 算法来清

除折点。通过设置一个 weed 容限值, 该值与沿着弧的趋势线比较, 那些小于 weed 容限值的折点将被删除不作进一步的处理, 结点总是保留 (如图 3)。

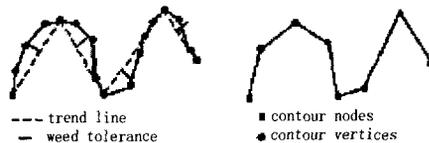


图3 等高线折点的处理过程

Fig.3 Process of the vertex in contour

这里还需注意的是, weed 容限值不能设得过大, 否则会引起邻近等高线之间的交叉 (如图 4)。

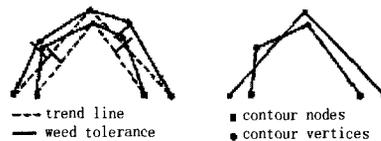


图4 等高线可能出现交叉的情况

Fig.4 Instance of contours' intersection

3.2 等高线的拟合

以上方法生成的等高线是折线, 需要对它进行拟合, 形成光滑的曲线。曲线拟合的方法有分段三次多项式法、切线矢量内插法、Bezier 曲线法、非均匀有理 B 样条曲线法和高阶连续单元四元素插值法等。Arc/info 使用 spline 命令来拟合曲线, 该方法使用分段三次多项式法对曲线进行拟合。

4 结果对比及结语

我们在河南省电力系统中读取某一时刻的部分厂站母线测点上的电压实时值, 并且分别使用规则格网法 (Lattice 法) 和不规则格网法 (TIN 法) 生成电压等高线, 分别如图 5 和图 6 所示。

从图 5, 6 的对比效果可以看出, 此二法表示的电压宏观信息的精确性还是比较接近的, 并且我们用采集到的电压值与之对比, 也符合实际情况。



图5 LATTICE法生成的等高线

Fig.5 Contour used by LATTICE method

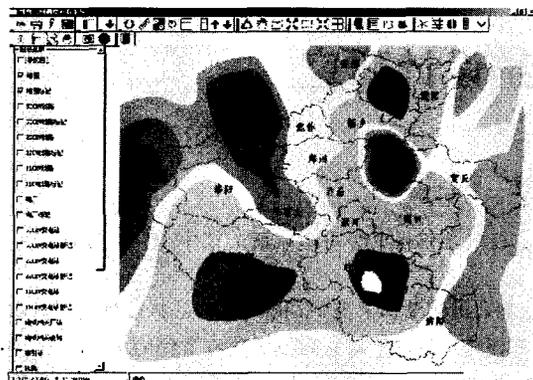


图6 TIN法生成的等高线

Fig.6 Contour used by TIN method

TIN 算法是基于构建不规则三角网, 通常使用线性内插法 (LINEAR) 或双变量五次齐次内插法 (QUINTIC), 寻找和跟踪等值点, 再对等值点联接形成等值线。在构建三角形时, 尽管对三角形进行了优化, 难免还是出现棱角很尖锐的三角形, 即使运用曲线拟合也还是会出现等高线折点处交角尖锐的现象, 整体的效果不如规则格网法美观。

规则格网用于不规则边界区域时, 边界处需要特殊处理。当格网点与地貌特征线不重合时, 不能准确表示地形的结构与细部, 因此, 基于格网地形数据生成的等高线不能准确地描述地形。为克服其缺点, 还需要附加特征地形数据, 如地形特征点、山脊线、山谷线、断裂线等, 从而构成完整的地形数据。由于节点运行数据曲面没有实际地形那样具有像陡崖、断层等复杂情况, 因此使用规则格网法形成电压等高线是可以满足要求的。

此外, 规则格网数据便于数据的检索, 可以用统一的算法完成检索和插值检索。由于矩形格网地形数据存储量最小, 可以方便地进行压缩存储, 便于使用而且容易管理, 因而使用规则格网数据形成等高线是目前应用较广泛的一种形式。

参考文献

[1] Modeling-our-World.ESRI公司ArcGIS白皮书[Z].2000.

(上接第 36 页 continued from page 36)

- [8] 王晶, 束洪春, 陈学允.小波变换电力系统工学应用综述[J].电网技术, 2003, 27(6): 51-63.
WANG Jing, SHU Hong-chun, CHEN Xue-yun.A Survey of Wavelets Transform Applying to Power System Engineering[J]. Power System Technology, 2003, 27(6): 51-53.
- [9] 陈平, 李庆民.基于数学形态学的数字滤波器设计与分析[J].中国电机工程学报, 2005, 25 11(6): 60-65.
CHEN Ping, LI Qing-min.Design and Analysis of Mathematical Morphology-based Digital Filters[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25 11(6): 60-65.

Modeling-our-World.ArcGIS Whitepaper, ESRI[Z]. 2000.

- [2] 韩祯祥, 吕捷, 邱家驹. 科学计算可视化及其在电力系统中的应用前景[J]. 电网技术, 1996, 20(7): 22-27.
HAN Zhen-xiang, Lü Jie, QIU Jia-ju. Visualization in Scientific Computing and Its Application Prospects in Power System[J]. Power System Technology, 1996, 20(7):22-27.
- [3] 樊红, 詹小国. arc/info应用与开发技术[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002.217-245.
FAN Hong, ZHAN Xiao-guo. Application and Development Technology of ARC/INFO[M].Wuhan: Wuhan University Press,2002. 217-245.
- [4] 侯景儒, 尹镇南. 实用地质统计学[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
HOU Jing-ru, YIN Zhen-nan. Practical Geostatistics[M]. Beijing:Geologic Press,1998.
- [5] Overbye T J.Visualization of Power Systems[M]. PSERC Publication, 2002.2-36.
- [6] 邬伦, 刘瑜, 张晶, 等. 地理信息系统原理方法和应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 178-190.
WU Lun, LIU Yu, ZHANG Jing. GIS Theory and Application[M]. Beijing:Science Press, 2001. 178-190.
- [7] 李新, 程国栋, 卢玲. 空间内插方法比较[J]. 地球科学进展, 2000, 15(3).
LI Xin, CHENG Guo-dong, LU Ling. Comparison of Spatial Interpolator Method[J]. Advance in Earth Sciences,2000,15(3).
- [8] Goodchild M F,Iam N S,Areal Interpolation,a Variant of the Traditional Spatial Problem[J].Geo-processing, 1980,(1): 197-312.

收稿日期: 2006-10-31; 修回日期: 2006-12-21

作者简介:

王杰 (1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统信息整合及数据平台; E-mail: song0576@163.com

吴琴 (1976-), 女, 工程师, 主要从事电力信息技术方面的研究;

樊淑丽 (1981-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统信息整合与图形显示。

收稿日期: 2006-11-13; 修回日期: 2007-01-08

作者简介:

王霄桦 (1980-), 男, 硕士研究生, 从事电能质量分析方面研究; E-mail: wang_xiaohua@sytu.edu.cn

程浩忠 (1962-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事电压稳定、电网规划、电能质量、电力市场等方面的科研工作;

胡丹 (1981-), 男, 硕士研究生, 从事电能质量分析方面研究。