

基于CIM的架空配电线路三维可视化 研究与实现

白晨旭, 周 磊, 李 磊, 马 骏

(国网江苏省电力有限公司技能培训中心 江苏 苏州 215004)

摘要: 针对架空配电线路可视化对资产数据来源的要求, 提出了基于CIM的架空配电线路三维可视化方法。建立了三维可视化系统的CIM模型, 将配电设备的实际模型转化为数据结构。关联了三维模型与资产属性数据、地理空间数据间的映射关系。同时, 为解决电网空间坐标转换为三维平台坐标系准确度偏低的问题, 设计了基于遗传算法的坐标转换方法。通过实验验证该方法的优越性, 并设计三维可视化平台, 在配电网的运行和改造方面具有很好的应用前景。

关键词: 架空配电线路; 三维可视化; 坐标转化; 遗传算法

Research and implementation of 3D visualization of overhead distribution lines based on CIM

BAI Chenxu, ZHOU Lei, LI Lei, MA Jun

(Skills Training Center of State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Suzhou 215004, China)

Abstract: In view of the requirement of the visualization of overhead distribution lines to the source of asset data, a 3D visualization method of overhead distribution lines based on CIM is proposed. The CIM model of 3D visualization system is established, and the actual model of distribution equipment is transformed into data structure. The mapping relationship among 3D model, asset attribute data and geospatial data is related. At the same time, in order to solve the problem of low precision of grid spatial coordinate conversion to 3D platform coordinate system, a coordinate conversion method based on genetic algorithm is proposed. The advantages of this method are verified by experiments, and a three-dimensional visualization platform is designed, which has a good application prospect in the operation and transformation of distribution network.

Key words: overhead distribution lines; 3D visualization; coordinate transformation; genetic algorithms

0 引言

随着配电网规模的日益扩大和信息化水平的不断提高, 三维可视化技术被逐渐应用于配电网的运维管理中^[1-2]。将区域内架空配电

进行三维可视化复现, 可以为运维部门开展日常技术管理工作提供直观的应用工具。文献[3]设计了一种多视角实景三维建模方法, 通过机载激光雷达技术获取地面高准确度三维坐

标,再与倾斜摄影技术相结合获取三维模型的纹理信息,实现输电线路的三维可视化。文献[4]采用无人机航拍和图像去抖动模糊算法对输电线路进行三维重建,实验表明三维结构轮廓更加连续、清晰,可视化性得到了提高。文献[5]利用CIS中地理资料数据,对数据库和功能模块进行分类,并建立了高度逼真的三维地理模型,同时建立了输电线路三维辅助设计。

由于当前配电线路三维可视化工作缺乏统一、公共的建模标准和数据规范,给生产管理系统和可视化平台之间的数据共享、模型更新和维护带来了困难。同时系统中经纬度坐标转换到三维可视化平台坐标系中会出现准确度偏低的问题。文献[6]将最小二乘法运用于坐标转换,但由于转换系数的病态性,求逆时会放大了误差的影响,导致准确度降低。文献[7]采用解耦法实现坐标变换,如果出现一致性扭曲,准确度将大大降低。

针对以上问题,本文提出了基于CIM的架空配电线路三维可视化方法,通过构建符合CIM标准的空间层次关系,将设备的三维信息转化为数据结构,并对其模型的组成进行表述,用来构建系统中的配电设备三维模型;利用CIM进行配电线路资产数据和空间数据建模,并设计三维模型与配电设备资产属性和地理空间信息的映射关系,利于配电设备的定位查询。为了避免电网空间坐标信息在三维平台中坐标转换准确度偏低的问题,设计一种基于遗传算法的坐标变换方法,大大提高了坐标转换的准确度,有利于在三维可视化空间中快速准确定位杆塔和线路的位置和方向。

1 基于CIM的配电线路数据模型

公共信息模型(Common Information Model, CIM)是电力系统信息交换的一个标准,该标准可以实现电力系统不同应用程序之间的交换^[8]。由于在电力企业中,不同的设计需求会产生各种应用系统,若采用单独建设的方式,不利于系统间的信息共享和集成,同时

会存在数据无法传输、通信接口复杂等问题,影响了电力系统的稳定运行^[9]。而CIM模型可以通过统一的建模语言制定电力系统中各个元件模型的数据结构,电力系统的相关软件平台可以利用CIM实现不同系统中的信息共享和相互操作,完成各系统的兼容。

为实现配电线路的三维可视化,首先要对配电线路进行三维建模。配电线路三维可视化系统需要的模型数据主要分为资产属性、地理空间两类。其中,资产属性数据主要包括配电网中的设备元件,通过资产数据建立配电网中各元件的三维模型;地理空间类数据为配电设备的坐标信息,用来完成可视化平台中的坐标定位。本文基于CIM建立了架空配电线路的信息数据模型,并通过模型间的映射关系满足三维模型对设备属性、坐标定位等信息实际要求。

1.1 资产属性类

配电线路三维可视化系统的资产属性类数据模型主要分为设备资产和设备支撑物资产两部分。

1) 设备资产主要指电力系统生产和转换电能的一次设备和对一次设备进行测量、监控、保护和控制的二次设备。包括电力变压器、电容器、电抗器、开关和互感器等,如图1所示。

2) 设备支撑资产指配电网中用以支撑配电线路,例如杆塔和电缆沟。本文主要研究架空配电线路,因此只需要对杆塔结构进行分析,从而定义设备支撑物资产的模型,如图2所示。

1.2 地理空间类

地理空间数据主要描述配电设备的坐标信息以及线路走向,即地理分布的特点。CIM通过定义位置类来表达资产的空间属性,并根据类中相关属性构建配电设备的空间信息模型。本文以位置类作为空间数据模型的基础,建立与地点、图表对象、坐标系、地图和标志物等类之间的关联、聚合和泛化关系,如图3所示。

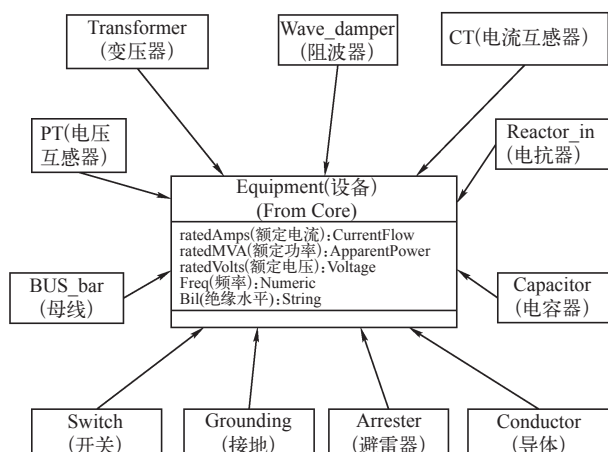


图1 设备资产模型

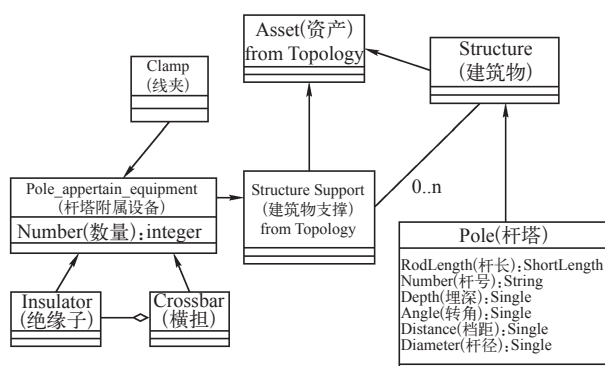


图2 设备支撑资产模型

Fig. 2 Equipment support asset model

1.3 模型映射关系

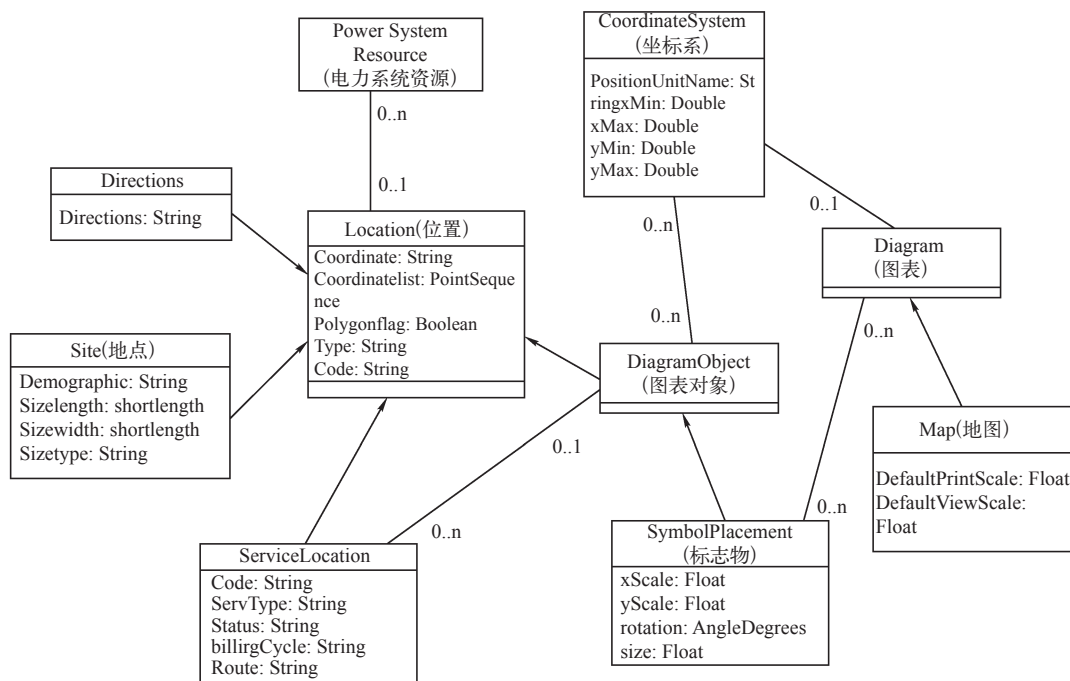


图3 空间数据模型

Fig. 3 Spatial data model

为满足三维模型对配电设备资产属性、地理空间等信息的需求,便于在系统中展示三维模型的设备资产和空间位置,构建三维模型与资产属性数据和地理空间数据之间关系图如图4所示。通过模型的映射关系实现了三维模型和资产属性数据、空间信息数据的互相关联,有利于系统实现配电设备自动定位、信息查询的功能。

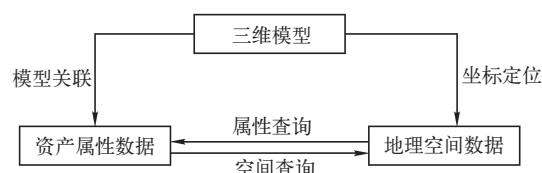


图4 数据关系图

Fig. 4 Data graph

资产属性类数据和地理空间数据主要完成属性查询和空间坐标查询问题；三维模型与空

间信息类数据的映射主要用于坐标定位,可以实现对配电网中设备(比如导线、杆塔等)的快速定位;三维模型与资产属性类数据的映射主要用于实现配电设备和三维模型的对应关系,便于构建设备的电气拓扑连接。

2 基于遗传算法的坐标转换方法

在建立配电线路三维可视化平台中,存在一个实际物体坐标到三维场景坐标的转化问题。但是目前的坐标转换算法存在着病态问题,导致转换误差较大。

因此,本文设计了一种基于遗传算法的坐标转换方法。用拟合的方式解决坐标转化过程中求解病态方程误差较大的问题,在三维场景中准确定位杆塔、线路的方向和位置。

2.1 算法实现步骤

遗传算法是主要模拟生物演化过程搜寻目标函数最优解的方法,具有全局搜索和并行计算的优势^[10-12]。

本文采用常用的布尔沙模型^[13-14]进行坐标变化研究,表达式为

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1+\alpha) \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \lambda_z & -\lambda_y \\ \lambda_z & 0 & \lambda_x \\ \lambda_y & \lambda_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

根据式(1)建立目标函数,具体为

$$\min f(x) = \min \|V_2 - \Delta V + (1+\alpha)V_1 + \beta V_1\| \quad (2)$$

式中, $V_2 = [X_2, Y_2, Z_2]^T$ 和 $V_1 = [X_1, Y_1, Z_1]^T$ 为重

合点的空间直角坐标; $\beta = \begin{bmatrix} 0 & \lambda_z & -\lambda_y \\ \lambda_z & 0 & \lambda_x \\ \lambda_y & \lambda_x & 0 \end{bmatrix}$;

$\Delta V = [\Delta X, \Delta Y, \Delta Z]^T$, 其中 ΔX 、 ΔY 、 ΔZ 、 λ_x 、 λ_y 和 α 为坐标转换准确度参数。

遗传算法流程如图5所示。具体步骤如下:

1) 遗传算法首先要进行编码,编码方式

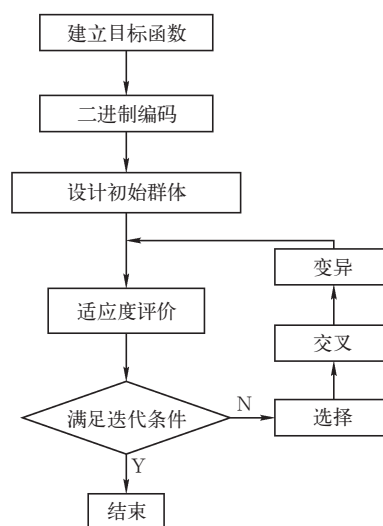


图5 遗传算法流程

Fig. 5 Genetic algorithm flow

对交叉算子和变异算子有影响,一定程度上决定遗传进化的效率,遗传算法包括二进制、浮点编码和符号编码等多种编码方式,本文选用二进制编码,具体为

$$x = m + (n - m) \frac{\sum_{i=1}^{\alpha} k_i 2^{\alpha-i}}{2^{\alpha} - 1} \quad (3)$$

式中, k_i 为染色体中第 i 位基因值; m 、 n 为解空间范围; α 为染色体的长度。

2) 设计初始群体。

3) 将目标函数直接映射成适应度函数,通过适应度函数评价染色体的优劣。定义适应度函数为

$$F(v) = 1/f(v) \quad (4)$$

4) 遗传算子包括选择、交叉和变异^[15]。其中根据概率选择算子,本文设计的个体选择概率为

$$P_s(b_j) = \frac{e^{f(b_j)/T}}{\sum_{i=1}^n e^{f(b_i)/T}} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

交叉算子通过二点交换实现染色体中基因的更改,并形成新的染色体。即二进制数字串交叉,交叉概率为 P_c 。

基因突变一般为小概率事件,设定较小的变异概率 P_m 即可,最后设置迭代条件求出目标函数最优解。

2.2 实验验证

采集某地区100个重合坐标点,分别采用遗传算法、最小二乘法和解耦算法进行坐标转换,并对误差进行统计,结果如图6所示。遗传算法求解病态方程时,用拟合的方式解决坐标转化过程中求解病态方程误差较大的问题,而不是直接对坐标转换矩阵求逆,相比于最小二乘法和解耦法,坐标转换更为精确。

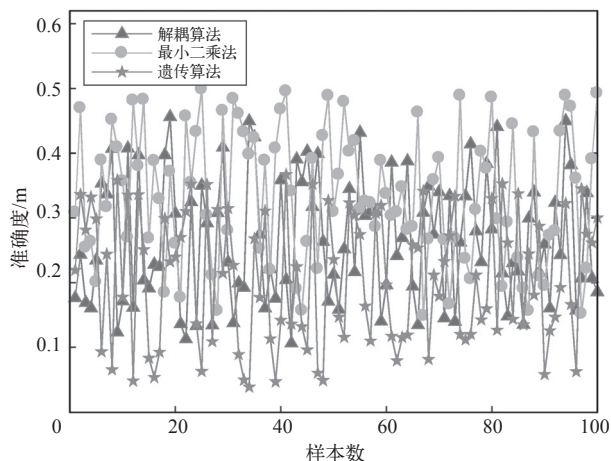


图6 统计结果

Fig. 6 Statistical results

3 系统实例

为验证本文所设计的方案的可行性,对某地区的配电线路进行三维可视化,首先采集模型数据,包括杆塔上导线、绝缘子、支架和金具等部件的数量和位置。通过本系统实现架空配电线路的三维可视化快速搭建和展示工作,如图7、图8所示。

在该三维可视化平台中,每个配电设备都有名称、编号和坐标等信息。对配电设备进行定位和查询时,输入设备编号和名称就能直接展示对应的三维模型、资产信息和地理位置等信息,实现CIM数据模型间的相互映射关系。

供电公司的运维人员可以根据该系统对配电线路进行设计、施工、改造和维护工作。该配电线路三维可视化平台具有准确度高、交互能力强的特点。并且能直观地展示配电设备的三维模型和拓扑结构。通过三维重建场景可以

对配电网的整体布局有清晰的了解,从而规划配电线路最优路径。不论是杆塔位置还是一些关联设备,都能快速准确进行定位和查询。



图7 三维架空配电线路

Fig. 7 3D overhead distribution line



图8 配电线路三维可视化平台

Fig. 8 3D visualization platform for distribution line

4 结束语

本文基于CIM建立了架空配电线路的信息数据模型,设计了资产属性类模型和地理空间类模型,将配电设备的实际模型转化为数据结构。实现了三维模型、资产属性类模型和地理空间类模型三者之间的映射,有利于电网信息和可视化系统的数据融合与共享。同时提出了一种基于遗传算法的坐标转换方法,以解决实际空间坐标到三维可视化场景坐标的转换问题。并对比最小二乘法和解耦法,本文设计的算法在解决坐标转换过程中的病态问题更具有优势。最后通过实验验证了该算法的优越性,并根据本文提出的CIM理论搭建了三维可视化平台,该系统可以应用到架空配电线路的辅助设计中,不仅可以满足对配电网新建、改造工

程的辅助设计，而且可以用于配电网的运维管理中，在提高供电公司的工作效率以及供电质量方面具有很好的应用前景。

参考文献

- [1] 刘国钧, 陈绍业. 图书目录[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [2] 金显贺, 王昌长, 王忠东, 等. 一种用于在线检测局部放电的数字滤波技术[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2007, 33(4): 62-67.
- [3] 马青岷. 无人机电力巡检及三维模型重建技术研究[D]. 济南: 山东大学, 2017.
- [4] 赵春林. 基于三维全景快速建模的变电站可视化的研究和应用[D]. 济南: 山东大学, 2013.
- [5] 李建斌, 潘圆君, 王嘉华, 等. 基于GIS的输电线路三维辅助设计系统研究与实现[J]. 信息通信, 2016(11): 166-168.
- [6] 刘凯. 水利工程坐标转换模型及精度分析[J]. 广西水利水电, 2013(1): 14-16
- [7] 姜楠. 坐标转换算法研究与软件实现[D]. 合肥: 安徽理工大学, 2013.
- [8] 陈根军, 周红阳, 李文云, 等. 基于CIM扩展的通用保护模型及其应用[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(24): 49-53+78.
- [9] WANG X, SCHULZ N, NEUMANN S. CIM extensions to electrical distribution and CIM XML for the IEEE radial test feeders[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2003, 18(3): 1021-1028
- [10] 姚静. 基于遗传算法的火电机组负荷优化分配研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2013.
- [11] 刘延华, 李永飞, 李林, 等. 配电网重构遗传算法的个体编码综述[J]. 计算机应用与软件, 2018, 35(10): 33-37, 107.
- [12] 李博峰, 黄善琪. 大角度三维基准转换的解析封闭解[J]. 测绘学报, 2016, 45(3): 267-273.
- [13] 李潇, 尹晖. 基于最小二乘配置的三维空间坐标转换[J]. 测绘工程, 2008, 7(2): 16-18, 29.
- [14] 葛继科, 邱玉辉, 吴春明, 等. 遗传算法研究综述[J]. 计算机应用研究, 2008(10): 2911-2916.

作者简介



白晨旭

白晨旭(1990 -), 男, 硕士, 工程师, 主要从事配电线路及配网自动化运检和培训

工作。
(收稿日期: 2019-11-27) **EA**