

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.12.026

# 基于 Skyline 的三维风电场可视化系统构建方法\*

房晓亮,张侃侃,李 进,曾佑聪

(中国电建集团 中南勘测设计研究院有限公司,湖南 长沙 410014)

**摘要:**针对大规模风电场快速三维可视化及信息管理的应用需求,提出了一种风电场快速三维可视化系统的构建方法。该方法以 Skyline 二次开发接口为基础,结合风电场的结构特征,首先利用 TerraBuilder 软件生成了风电场的三维地形场景,然后再通过 SketchUp 工具分别建立了塔架、机舱、风轮子模块的三维模型,最后根据风电场属性信息表中的关键字段,组合以上 3 种子模块,实现了风电场的三维可视化与属性信息的动态关联。研究表明:提出的系统构建方法能够实现大规模风电场的快速三维可视化,以及风电机组属性信息的动态模拟。

**关键词:** Skyline; 3D GIS; 风电场; 信息管理

**中图分类号:** TP391; TK83

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-4551(2017)12-1496-05

## Skyline-based 3D visualization system construction for wind farm

FANG Xiao-liang, ZHANG Kan-kan, LI Jin, ZENG You-cong

(ZhongNan Engineering Corporation Limited, PowerChina, Changsha 410014, China)

**Abstract:** Aiming at the demands of quick visualization and dynamic information management of large-scale wind farm, a Skyline-based method was proposed for dynamically constructing three-dimensional scenes of wind turbine generator system (WTGS). The proposed method firstly utilized TerraBuilder software to generate 3D basic terrain scenes for Wind Farm. Then 3D refined models of tower, nacelle and wind turbine rotor were unifiedly built by SkechUp tools, respectively. Finally, the 3D model of wind farm was dynamically constructed by combining three 3D refined models according to the associated position and attribute information. The results indicate that our method can rapidly realize 3D representation and dynamic simulation of wind turbine generators.

**Key words:** Skyline; 3D GIS; wind farm; information management

## 0 引 言

风能发电作为一种清洁、可再生的能源,已得到各国政府重点扶持<sup>[1]</sup>。随着风能发电的发展,风电场的规模不断增大,迫切需要对大规模风电场基础设施的分布情况、运行状态等进行动态化监测和可视化信息管理<sup>[2]</sup>。

目前,国内关于风电场的应用研究主要在于监测信息管理与三维可视化模拟两方面。在风电场信息管理方面,文献[3]提出了一套基于 Web 的风电场监控

及信息管理系统方案,实现了多种监测设备的数据整合;文献[4]提出了基于 OPC 标准的风电信息管理系统,实现了不同风电监控系统的风机信息自动获取、存储和上传。在风电场三维可视化方面,文献[5]利用在线二维百度地图服务与三维绘图技术,实现风场的远程可视化监测;文献[6]采用 UG、3Dmax 软件和 Nvision 平台搭建风力发电场三维可视化系统;文献[7]利用虚拟现实技术,对风电机组的结构、安装过程、巡检流程进行模拟以及在虚拟风电场中漫游。国外类似研究提出了以 Google Earth 和 SketchUP 实现风

收稿日期:2017-02-10

基金项目:资源与环境信息系统国家重点实验室开放基金资助项目(未提供)

作者简介:房晓亮(1986-),男,陕西渭南人,工程师,主要从事三维地理信息系统方面的研究。E-mail:fxlhu@163.com

电场的可视化<sup>[8]</sup>,主要是提高公众的参与度,没有进行数据的关联等应用。文献[9]提出了基于 GIS 的风电场三维可视化声学仿真研究。

综上所述,现有研究尚不能实现大规模风电场的三维可视化与专题信息管理相结合。3D GIS 技术将三维图形和数据库进行逻辑关联,可直观描述和管理各种电力设备的参数属性及运行控制信息<sup>[10]</sup>。目前,主流的 3D GIS 软件包括国外的 ArcGlobe、Google Earth、Skyline 等以及国内的 SuperMap、GeoGlobe 等。

本研究将以 Skyline<sup>[11-12]</sup>为基础平台,建立大规模风电场的三维地形场景。

### 1 风电场三维信息可视化

传统的风电场三维构建方式内存消耗较大。本研究首先基于 DOM、DEM、DLG 数据生成风电场三维地形场景,然后手动创建塔架、机舱、风轮 3 种精细模型,最后结合风机属性信息(编码、位置等),组合塔架、机舱、风轮模型,动态加载风机组模型,并实现三维风机模型与属性信息的关联管理,方法流程如图 1 所示。

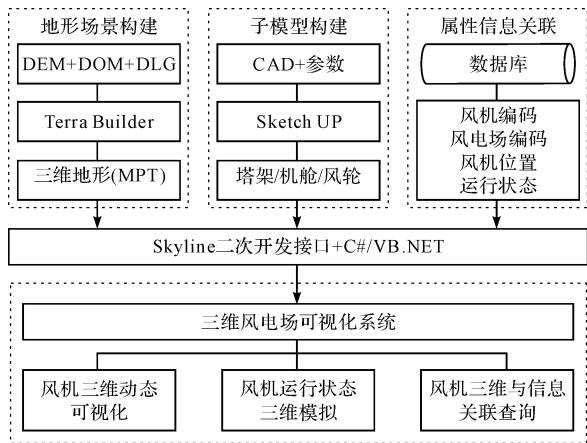
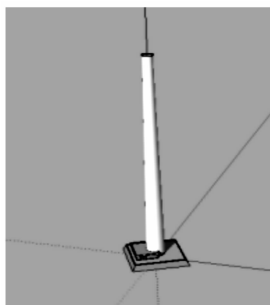


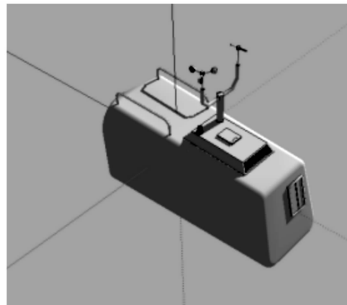
图 1 方法流程

#### 1.1 三维地形场景构建

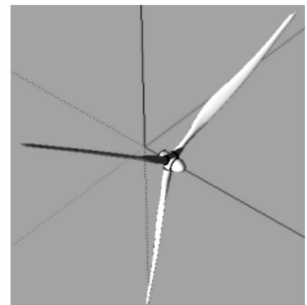
Skyline 的 TerraBuilder 软件是一款三维地形场景



(a) 塔架子模型



(b) 机舱子模型



(c) 叶轮子模型

图 3 风电机组子模型构建

构建工具,它生成真实详细的三维地形场景。具体流程如下:

- (1)数据预处理。包括时空基准统一,数据格式转换,数据完整性检查;
- (2)创建金字塔。为每个图层创建充足的分辨率级别;
- (3)图层处理。调整图层的尺度和可视范围,调整影像图层的颜色及高程参数;
- (4)多边形操作。裁切/反方向裁切、填充颜色/高程值、羽化等;
- (5)导出\*.MPT 三维场景文件,创建三维地形之前,可通过预览查看是否需要做出调整。

三维地形场景构建效果如图 2 所示。



图 2 三维地形场景构建效果

#### 1.2 风电机组子模型构建

本研究假设风电场所有的发电机组具有相同的构造、尺寸参数,因此一个风电场只需建立一套风电机组模型作为模板。本研究利用 SketchUp 建模软件对风力发电机进行三维建模。

本研究将风电机组分为 3 个子模型:塔架模型、机舱模型和风轮模型,如图 3 所示。

对各子模型的位置与形态进行相关设置:(1)塔架子模型的底部中心点要位于坐标原点;(2)机舱子模型的中心点应设置到坐标原点;(3)风轮子模型的转轴应与 X 轴重叠。

### 1.3 风电场动态三维可视化

本研究通过读取风电场与风机的属性信息表,调用 Skyline 二次开发接口,设计风电场二维空间分布展示、风电机组三维动态加载、风电机组运行状态监测以及与属性信息的关联查询等可视化系统模块。

(1) 风电场属性信息表。本研究分别设计了风电场信息表和风电机组信息表,两个表以 YardID 关联,风电机组 ID 与实时监测数据关联。具体表结构关系及逻辑如图 4 所示。



图 4 属性表结构及结构逻辑图

(2) 风电场二维空间分布展示。本研究设计了在广域范围内风电场以二维图标的方式进行可视化呈现。首先,读取风电场属性信息表中 X、Y、Z,通过 CreatePosition 创建 Position 对象,Z 值的 AltitudeType 属性设置为绝对高程类型。然后,通过 CreateLabel 创建 label 对象,通过 Position、Text、ImageFileName 属性设置 label 显示的位置、文字和图标。遍历所有风电场信息,循环创建 position 和 label 对象,实现风电场二维分布图展示。

(3) 风电机组三维动态加载。根据风电场 ID 查询其包含的所有风机信息,然后利用 Skyline 的模型创建函数 CreateModel,组合预先定义的塔架、机舱和风轮子模型,动态创建各个风机的精细三维模型,并加载到三维地形场景。系统根据交互的风电场 ID,从数据库获取风电场包含的机组信息进行三维可视化。模型创建函数 CreateModel 中各参数的设置如下:

① Position 表示子模型的显示位置,塔架子模型的 Position = (X, Y, Z),机舱和风轮子模型的 Position = (X, Y, Z + H),其中:X, Y, Z—风机的位置属性;H—机舱中心点到塔架底部的高差;

② FileName 表示各子模型的文件存储位置;

③ Scale 表示模型比例,通常为 1;

④ ModelType 表示模型类型,取值为 0、1、2;

⑤ GroupID 表示放置各子模型的组编号,通过 GroupID 便于查询和管理;

⑥ Description 表示风车子模型在 Skyline 平台中显示的名字。

通过风电场 ID 获取所有机组信息,然后遍历机组信息,通过 CreateModel 函数依次创建每个机组的塔架、机舱、风轮模型,从而创建整个风电场机组三维模型。

(4) 风电机组运行状态监测。风电机组运行状态主要包括偏航、转速、工作状态。风电机组的偏航状态可通过设置机舱和风轮子模型 Position 参数的 yaw 属性进行可视化呈现。转速的模拟则通过计时器不断改变风轮子模型 Position 参数的 pitch 值来实现。另外,本研究对出现故障的风电机组采用警示颜色加闪烁来渲染,可通过 TerrainModel.Tint 属性设置模型显示颜色。

当前实现机组运行状态的变化是通过定期的刷新的方式,设定刷新时间,定期从数据库中获取参数,然后改变三维模型运行状态。

(5) 风电机组属性信息关联查询。本研究还实现了风电机组的属性信息与机组三维模型的关联查询。通过 IWorldPointInfo 接口获取交互的风机三维模型及风机 ID,然后从数据库查询该风机 ID 对应的属性信息和运行状态,并以 PopupMessage 进行显示,PopupMessage 可以嵌入图表、动画。同时,也可通过搜索风机名称快速定位到对应风机三维模型。另外,该系统还支持传统的信息查询。

(6) 后台数据的获取。具体包括:

① 实时监测数据的获取,通过风电场 ID 和机组 ID 将对应的监测信息进行关联存储;

② 在系统初始化时候,系统从数据库中获取全部的风电场信息,在前端将风电场信息以树形结果呈现和二维的方式呈现。

## 2 三维信息可视化系统构建

本研究基于 Skyline + C# + SQLServer,实现了风电场三维可视化系统。系统主要包括:风电场二维分布式管理和风电机组三维动态可视化。

系统默认自动加载风电场的二维分布情况,同时创建风电场的管理列表,通过与二维图标交互,可查看风电场的基本情况,风电场级的二维空间分布展示如图 5 所示。

风电场图形属性交互查询如图 6 所示。

双击左侧风电场管理列表某一风电场记录,系统会自动定位到选定风电场位置,同时漫游至该风电场三维场景并加载该风电场中所有风机的三维模型,风电机组三维场景可视化表达如图 7 所示。

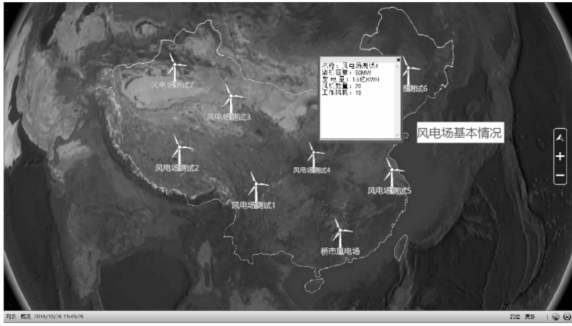


图 5 风电场级的二维空间分布展示



图 8 风电机组运行状态模拟

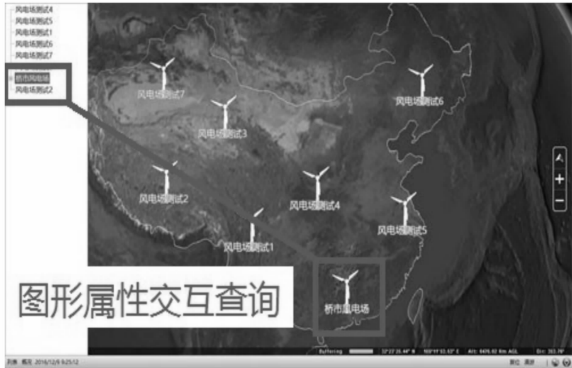


图 6 风电场图形属性交互查询

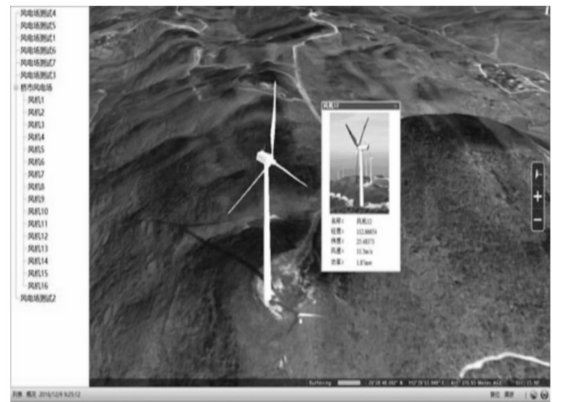


图 9 风电机组的信息关联查询

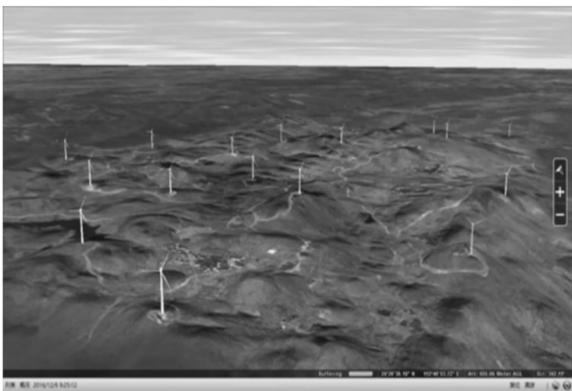


图 7 风电机组三维场景可视化表达

另外,系统实现了风电机组运行状态的实时模拟和属性信息动态关联。根据机组的运行状态参数(转速、运行正常或故障),系统以红色警示闪烁方式表示运行故障的风电机组,同时通过不断改变风电机组的几何参数来实时模拟风电机组的偏航与转速等状态。风电机组运行状态模拟如图 8 所示。

在进行风电机组的三维可视化的同时,系统左侧管理列表动态加载当前风电场的所有风电机组信息列表。风电机组的信息关联查询如图 9 所示。

通过点击风电机组列表可以快速定位到某一风电机组模型,并可交互查看与该风电机组关联的属性信息(如机组的基本信息、转速、偏航、运行参数、监控视频等)。

### 3 结束语

本研究通过将风电场信息管理与三维 GIS 结合,以 Skyline 为基础平台,提出了三维地形建模→子模型预构建→风电场三维可视化方法。实验结果表明,本研究提出的系统构建方法能够实现大场景中风电场空间分布的二维展示,小场景中风电机组的三维精细表达,以及三维模型与属性数据表的交互查询与信息管理的,为风电场的实时在线监测提供一种直观可视化与信息可管理相结合的技术方案。

#### 参考文献(References):

- [1] BIROL F. World energy outlook 2010[M]. Paris: International Energy Agency, 2010.
- [2] 张俊儒,纪飞,徐爱国,等. GIS 技术在风电监测系统中的应用[C]. 中国电机工程学会电力系统自动化专业委员会三届一次会议暨 2011 年学术交流会,南京:中国电机工程学会,2011.
- [3] 赵国群,徐劲松. 基于 Web 的风电场监控及信息管理系统的设计与研究[J]. 机电工程, 2014, 31(12): 1623-1628.
- [4] 李凤霞,梁荣斌. 风电信息管理系统在内蒙古地区风电场的应用[J]. 内蒙古科技与经济, 2009(23): 117-118.

- [5] 宋 鹤. 基于 Web 的风电场监控及信息管理系统的设计与研究[D]. 沈阳: 沈阳理工大学信息科学与工程学院, 2015.
- [6] 崔权维. 基于 VR 技术的风能发电场三维可视化系统设计及实现[J]. 机械设计与研究, 2015, 31(5): 163-167.
- [7] 阎光伟, 邢雁辉. 风电机组虚拟仿真系统的设计与实现[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(23): 35-41.
- [8] WOLK R M. Utilizing Google earth and Google sketchup to visualize wind farms[C]. IEEE International Symposium on Technology & Society, Fredericton: IEEE, 2008.
- [9] MANYOKY M, HAYEK W U, HEUTSCHI K, et al. Developing a GIS-Based visual-acoustic 3D simulation for wind farm assessment [J]. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, 2014, 3(1): 29-48.
- [10] 魏祖宽, 蒋 楠, 金在弘. 电力信息系统中三维 GIS 关键技术的应用研究[J]. 计算机与现代化, 2010(5): 83-88.
- [11] 唐 桢, 张新长, 曹凯滨. 基于 Skyline 的三维技术在城市规划中的应用研究[J]. 测绘通报, 2010(5): 10-12.
- [12] 徐爱锋, 徐 俊, 龚健雅. 基于 Skyline 的三维管线系统的设计与实现[J]. 测绘通报, 2013(6): 75-77.

[编辑: 周昱晨]

## 本文引用格式:

房晓亮, 张侃侃, 李 进, 等. 基于 Skyline 的三维风电场可视化系统构建方法[J]. 机电工程, 2017, 34(12): 1496 - 1500.

FANG Xiao-liang, ZHANG Kan-kan, LI Jin, et al. Skyline-based 3D visualization system construction for wind farm[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2017, 34(12): 1496 - 1500.《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第 1460 页)

准确的预测数据; 同时, 也能得到比单一的马尔可夫链预测模型更加精确的绝缘状态的预测结果。

但是, 该模型中的某些参数需要传统状态评估的阈值标准以及专家意见和先验知识获取难度较大, 所以当待预测参数维度增大时, 该模型的应用难度也会随之加大。

## 参考文献 (References):

- [1] 周笑阳, 杨建华, 卢 伟, 等. 基于水树枝现象 XLPE 电缆在线监测系统的研究与设计[J]. 绝缘材料, 2015, 48(10): 59-63.
- [2] 夏向阳, 贺运九, 唐 洁, 等. 电缆接头局部放电在线监测方法[J]. 电力科学与技术学报, 2016, 31(4): 143-148.
- [3] 朱晓辉, 杜伯学, 周风筝, 等. 高压交联聚乙烯电缆在线监测及检测技术的研究现状[J]. 绝缘材料, 2009, 42(9): 58-63.
- [4] 张栋梁, 严 健, 李晓波, 等. 基于马尔可夫链筛选组合预测模型的中长期负荷预测方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(12): 63-67.
- [5] 郑理科, 李帅兵, 王晓东, 等. 基于最优变权正态云模型的电力变压器绝缘状态评估[J]. 高压电器, 2016, 52(2): 85-92.
- [6] 谢 松, 邹 阳, 蔡金锭, 等. 基于模糊粗糙集的变压器油纸绝缘状态评估[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(1): 190-197.
- [7] 田启东, 刘雪飞, 林欣慰, 等. 考虑风速相关性和出力不确定性的风电场运行风险评估[J]. 机电工程, 2016, 33(3): 319-325.
- [8] YANG J B, SINGH M. An evidential reasoning approach for multiple-attribute decision making with uncertainty [J]. **IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics**, 1994, 24(1): 1-18.
- [9] SPURGEON K, TANG W H, WU Q H, et al. Dissolved gas analysis using evidential reasoning[J]. **IEE Proceedings-Science, Measurement and Technology**, 2005, 152(3): 110-117.
- [10] TANG W H, SPURGEON K, WU Q H, et al. An evidential reasoning approach to transformer condition assessments [J]. **IEEE Transactions on Power Delivery**, 2004, 19(4): 1696-1703.
- [11] 陈 涛, 魏娜娜, 陈守娥, 等. 交联聚乙烯电力电缆水树产生机理、检测及预防[J]. 电线电缆, 2009(4): 1-3.
- [12] 张 涛, 雷 勇, 朱英伟, 等. 基于非线性的水树老化 XLPE 电缆绝缘状态评估[J]. 绝缘材料, 2017, 50(2): 46-51.
- [13] 夏向阳, 张 琦, 李明德, 等. 证据理论与模糊理论集成的 XLPE 电缆绝缘状态评估研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(20): 13-18.
- [14] 张兴隆, 毛 欣, 曾 灿, 等. 基于冲击电压下有功损耗测量的电缆绝缘状态评估[J]. 电测与仪表, 2016, 53(23): 28-32.
- [15] 李 辉, 李学伟, 胡姚刚, 等. 风电机组运行状态参数的非等间隔灰色预测[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(9): 29-34.
- [16] 赵云峰, 张永强, 聂德鑫, 等. 基于模糊和证据理论的变压器本体绝缘状态评估方法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(23): 57-62.
- [17] 卓金玉. 电力电缆设计原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [18] 吴广宁. 电气设备状态监测的理论与实践[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [19] XIE J, ZHANG Y, JIANG W. An improved grey-markov chain method with an application to predict the number of chinese international airlines[C]. *International Symposium on Information Science and Engineering*, Shanghai: IEEE, 2008.

[编辑: 张 豪]