

基于大视景仿真技术的无人机巡检培训考试系统研究与实现

黄晶

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的]随着无人机大量应用于电网运检工作, 操作人员进行飞行培训成为作业前置条件但实机训练成本高, 风险大, 而研发无人机电网巡检仿真培训考评系统, 可减少实机训练失误, 降低坠机和设备损毁风险, 规范培训操作、利于培养技术成熟的电网运检人员。[方法]从无人机电网巡检实际需求出发, 建立基于大视景仿真技术建立虚拟地理场景和输电线路运行场景, 内置无人机电力巡线必须遵循的技术导则和安全规范, 研究与实现巡检培训考试系统, 对参与训练的学员训练效果进行统计分析和量化评估。[结果]研究表明: 此研究成果使机巡人员培训不受天气与成本等因素限制, 可部分代替真实的机巡训练, 加快人才培养速度, 适应电网发展需要。[结论]研制的电网巡检培训考试系统将运维巡检人员的无人机操控执行品质提升到新的水平, 具有一定的借鉴意义, 值得推广应用。

关键词: 无人机; 视景仿真; 电网巡检; 仿真培训系统;

中图分类号: TM000

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)S1-0153-06

Research and Realization of UAV Power Grid Inspection Training and Evaluation Simulation System

HUANG Jing

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] Since currently unmanned aerial vehicles (UAV) have been widely used in power grid inspections, research and development of the UAV power grid inspection training and evaluation system is to reduce real machine drill errors, reduce the risk of crashes and equipment damage, and train grid inspection personnel with standardized operation and mature techniques. [Method] To meet the actual requirements of the UAV grid inspection, this paper established the virtual geographic information scene and the transmission line operation scene, based on the large visual simulation technology. At the same time, the system was built-in technical guidelines and safety specifications that must be followed by the UAV power line. It could statistically analyze and quantify the training effect of the participants. [Result] The research shows that the machine patrol personnel can participate in the training at any time and at low cost, which can partially replace the real patrol drill training, speed up the training of technical personnel, and adapt to the development needs of the power grid. [Conclusion] The developed UAV Power Grid Inspection Training and Evaluation Simulation System will improve the operation and maintenance inspection personnel's operational quality of the drones to new level, which has certain reference significance and is worthy of application and deployment.

Key words: unmanned aerial vehicle; visual simulation; inspection; training and evaluation simulation system;

无人机在输电线路巡检中发挥着越来越重要的

作用, 采用无人机进行线路巡检已经成为一种常态化作业趋势^[1]。通常在电力巡线时, 无人机需要携带高清晰数码相机、摄像机、红外热像仪、紫外成像仪等价格高昂的仪器^[2], 稍有不慎, 会造成的损失很大, 对操作人员技能熟练度有较高要求。传统

的基于虚拟现实的无人机仿真训练系统没有虚拟的输电线路、杆塔、吊舱、检测设备和无线通讯设备,无法利用操作导则、安全规范对输电线路和杆塔进行飞行试验和训练,教练人员难以对操控人员训练水平进行量化评估。

当前电力仿真培训系统大多数用于变电站运维仿真培训^[3]、电网调控仿真培训^[4];主要适用于研究大电力系统复杂的暂态和动态过程的电力系统离线仿真;主要适用于详细研究大电力系统有限规模主干网络和局部系统的暂态和动态过程、以及物理装置试验研究的实时数字仿真。近年来随着电网智能运检的号召,无人机巡线的规模不断增长^[5],对电网巡线人员的无人机巡线操控技能要求越来越高,因此开展本次无人机电网巡线培训考试系统的研究。

目前常用无人机操控模拟器是凤凰模拟器、Realflight 模拟器,其都不包含电网实地场景,并都无针对电网巡线业务的操作培训仿真,更无自然状况模拟(如全角度风力等)及智能打分考评功能。本系统首次针对上述问题,展开无人机机巡业务操控仿真研究,内置巡检作业标准,实现了典型塔型、典型场景、典型业务仿真和培训考试,包括常规巡检、故障巡检、山火灾情巡检、树障巡检、精细化巡检等。

1 系统总体设计

无人机电网巡线培训考试系统如图1所示,主要包含无人机仿真模块、大视景仿真模块、机巡培训模块、机巡考评模块。如图2所示,无人机机巡大视景仿真技术将无人机飞行控制系统与三维大视景仿真技术结合,先建立无人机巡线视景数据库,输入操控信号,并在其中模拟机巡的客观环境和日常高频率出现的缺陷,从而实现机巡环境与机巡操作控制的信息实时交互,达到协同仿真的效果。

1.1 无人机仿真模块

逼真模拟常规操控界面,实现无人机机型选择,飞行前检查,无人机信号检查、校准、飞行参数综合显示;遥控器仿真包括方向控制、油门控制、拍照、云台控制;相机图像显示。

1.2 大视景仿真模块

内置高山、丘陵、平地、跨江、跨高速5种输电线路的地理环境场景,实现场景选择功能;无人

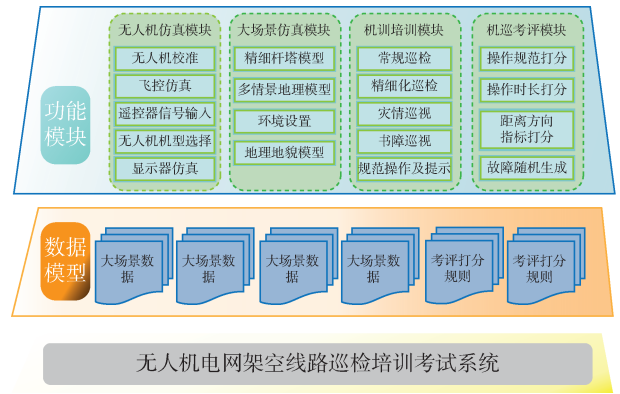


图1 系统功能架构图

Fig. 1 System function architecture diagram

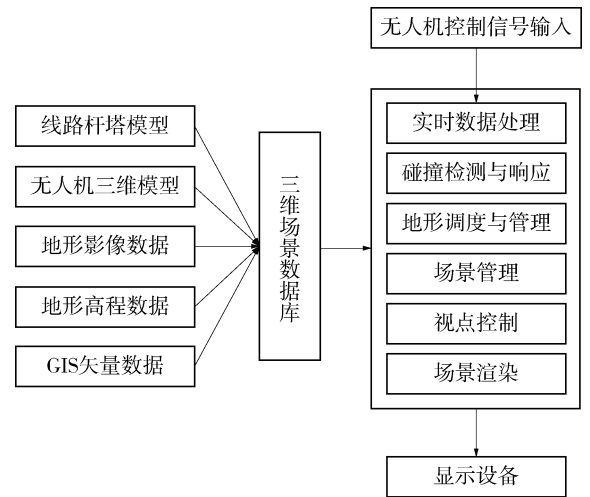


图2 系统体系结构图

Fig. 2 System architecture diagram

机视角的场景仿真;无人机位置信息参数仿真;精细化输电线路铁塔及导线仿真;正常金具及故障金具仿真;鸟巢、漂浮物、山火灾害等仿真;以及雨、雾、风等自然环境气象模式仿真及在1、3、5级风时无人机姿态变化。

1.3 机巡培训模块

分为常规巡视、精细化巡视4、树障巡视、灾情巡视4种机巡模式;提供巡视操作指引、注意事项及不规范动作字幕提示;包含指南针错误、GPS卫星数缺失、失联、失图传、无人机电池失压等意外场景模拟;可随机出现5种故障供学员进行巡检遥控操作;内置不同巡检模式下多种安全距离参数、多种拍照部位及角度参数。

1.4 机巡考评模块

考评打分规则为:考试时间部分共35分,分

为起飞时长、巡检时长、返航时长；巡检操作部分 65 分；发生撞机为任务失败得 0 分。

2 关键技术的实现

视景仿真是多种技术的综合，包括图形技术与图像生成、显示和信息合成等高新计算机技术，是一种前沿的可计算技术应用于沉浸式交互环境仿真^[6]。仿真的自然景物不仅包含输电杆塔、线路和地貌自然环境，还包含无人机、电气金具、山火灾害、鸟巢障碍、漂浮物障碍等。

2.1 无人机巡检视景生成

无人机巡检视景仿真的核心技术之一是跟踪无人机视线和视点方向的视景生成，其主要由 2 部分组成：1 无人机活动范围约束，2 无人机速度及方向仿真。以上均直接决定无人机视点位置，间接决定无人机视线方向。

2.1.1 大规模三维场景的实时绘制

1) 延迟着色

系统采用带有大气散射的光照模型作为主要的光照模型，该光照模型的计算量和纹理访问量都较大，使用延迟着色模式可以有效降低光照计算的任务量，有助于实现较高的绘制性能。系统的基本流程如图 3 所示，图中圆角矩形表示绘制操作，直角矩形表示数据缓冲区，实线箭头表示数据流向，虚线箭头表示绘制操作的执行顺序。该流程将系统中需要绘制的对象分为四类：实体三维模型、带折射效果的网格、星空和非实体效果。

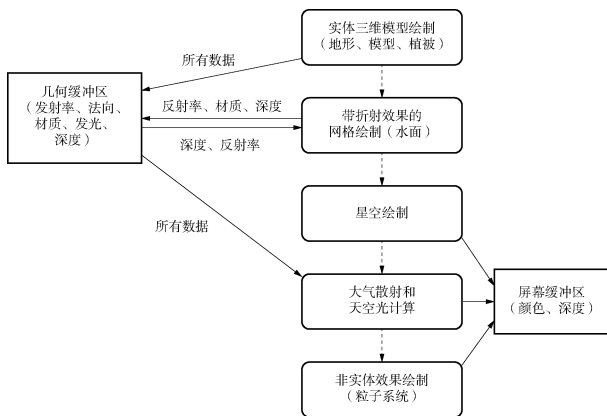


图 3 基本绘制流程

Fig. 3 Basic drawing process

2) 多重采样

绘制三维场景时需要使用多重采样技术消除三

角形边界上的锯齿效果。多重采样的一个基本假设是同一个像素点内的多个采样点的数据可以通过加权平均得到这个像素上最终呈现的数据。在延迟着色模式下，像素内存储的并非全都是颜色信息，还包括几何信息(深度、法向等)和材质信息。先利用几何信息计算出像素颜色，再对颜色进行加权平均，和先对几何信息进行加权平均，再使用加权平均后的几何信息计算颜色，抗锯齿的效果会得到很好改善。考虑了多重采样问题后的延迟着色处理流程如图 4 所示。

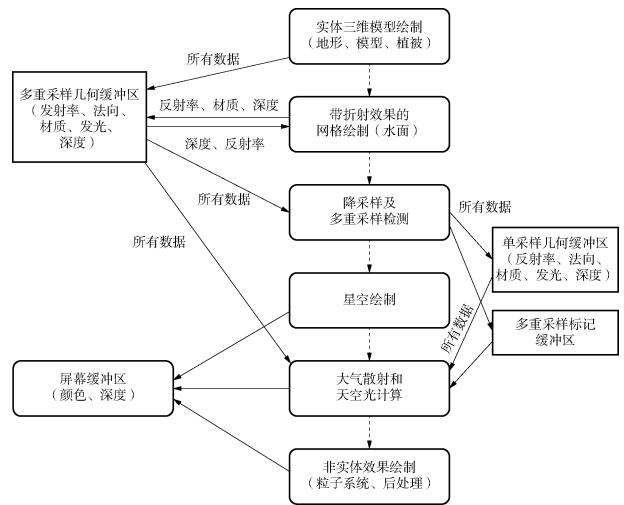


图 4 多重采样绘制流程

Fig. 4 Multiple sampling drawing process

首先将场景信息绘制到多重采样的几何缓冲区中，然后将多重采样的几何缓冲区通过加权平均的方法降采样为单采样的几何缓冲区。在降采样过程中执行上述三条检查，将检查结果记录在额外的多重采样标记缓冲区中。多重采样标记缓冲区是一个与屏幕等大的 8 位无符号整数格式的纹理图像，其低三位分别表示该位置的像素是否通过了上述的三条检查，如果某条检查表明该像素需要执行多重采样光照，那么对应的位标为 1。这样设计的好处是光照计算阶段可以灵活地根据光照算法的特征舍弃某些检查的结果，例如某个光照算法的计算结果与像素的空间位置无关，只与法向和材质有关，那么使用这一光照算法时，就可以只检查法向和材质对应的判定位，舍弃深度的判定位。使用该策略可以进一步减少需要执行多重采样光照的像素数，提高性能。

2.2 无人机碰撞检测

在现实无人机巡检作业中最严重的问题是发生

碰撞^[7]，造成坠机或其他人、财、物的损失。在仿真系统中碰撞检测常常是系统计算效率的瓶颈，必须根据实际应用在实际性和真实性之间折衷^[8]。实时性要求算法的高效性，真实性要求算法的精确性，在游戏引擎中对实时性有较高要求^[9]，在本研究应用的仿真中对真实性有较高要求。对此在仿真系统中本文采用包围盒技术进行碰撞检测。复杂形状的物体外加一个简单的几何空间即外罩包围盒^[10]，用于快速进行碰撞检测或进行精确的碰撞检测之前进行过滤。包围盒类型包括球体、轴对齐包围盒(AABB)、有向包围盒(OBB)、K 离散导向多面体(K-DOP)^[11]。本研究中采用紧密性好、构建快捷、可快速判断相交区域的 AABB 包围盒进行碰撞检测。

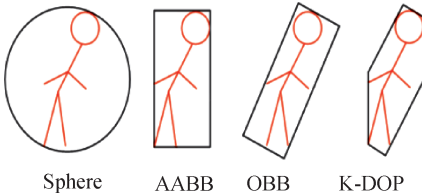


图 5 包围盒在坐标系中表示

Fig. 5 Bounding box in the coordinate system

AABB 包围盒有一个重要特性，包围盒对应的长方体每一个面都与某个坐标轴平面平行，因此某物体的 AABB 包围盒仅需记录坐标轴上的最大值与最小值，6 个参数即可，即 X_{min} 、 X_{max} 、 Y_{min} 、 Y_{max} 、 Z_{min} 、 Z_{max} 。则物体上所有的点都满足以下条件：

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{min} \leq X \leq X_{max} \\ Y_{min} \leq Y \leq Y_{max} \\ Z_{min} \leq Z \leq Z_{max} \end{array} \right\} \quad (1)$$

可将 AABB 包围盒可用集合的方式表示为：

$$P_{min} = (X_{min}, Y_{min}, Z_{min}) \quad (2)$$

$$P_{max} = (X_{max}, Y_{max}, Z_{max}) \quad (3)$$

检查两个物体 A、B 的 AABB 包围盒是否碰撞，即检测两个包围盒是否相交。可简化为基于每一条坐标轴并利用盒子的边缘去检测。图 6 显示了 A、B 两包围盒基于 X 轴的检测，则检测线段 X_{Amin} X_{Amax} 与 X_{Bmin} X_{Bmax} 是否重叠。

在 JavaScript 中可实现为：

Function intersect(a, b)

```
{
return(a.minX <= b.maxX && b.minX <= &&
```

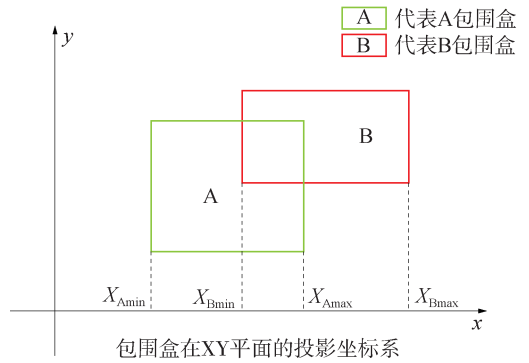


图 6 轴对齐检测

Fig. 6 Collision detection

a. maxX) &&

minY <= b. maxY && b. maxY <= a. maxY) &&

minZ <= b. maxZ && b. maxZ <= a. maxZ);

}

3 系统实现

本系统依托于 VSV 三维视景仿真引擎，使用 C++、GLSL、Python 开发语言，结合可扩展标记语言(XML)技术，利用 3DS MAX 和 Maya 建模软件对输电杆塔、电线、金具、金具缺陷、鸟巢、漂浮物等进行建模，运用 OpenGL 库模拟和渲染。主要实现了无人机飞控仿真、视景仿真、电网巡检操作培训及考评。

3.1 无人机飞控仿真

仿真实现大疆无人机飞控界面，实时显示飞行高度、鹰眼地图、飞行位置、水平速度、垂直速度、电池电量、GPS 信号、图像信号、九宫格、指南针、卫星数，如图 7 所示：



图 7 飞控仿真

Fig. 7 Flight control simulation

本系统使用 R/C 遥控器来操控无人机, 使用 PPJoy 将 R/C 遥控器模拟成一个游戏杆, 将相应的通道映射为相应的模拟器输入, 并进行校准, 如图 8 所示:

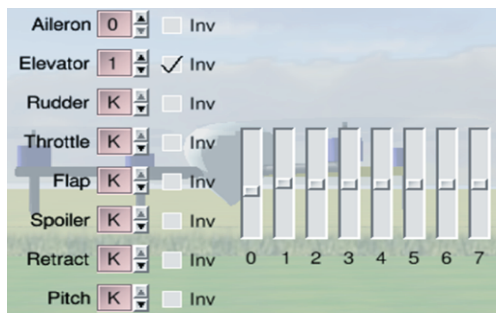


图 8 遥控器信号校准

Fig. 8 Remote control signal calibration

3.2 大视景仿真

大视景仿真实现无人机电网巡检场景及飞行姿态仿真, 云台视角的场景仿真。以及环境设置模拟, 如时段、天气、场景选择 3 部分。其中模拟时段包括清晨、正午、傍晚 3 个时段; 天气包括晴天、雨天、雪天、雾天、风况(无风、一级、三级、五级)等; 场景选择包括高山、丘陵、平地、跨江、跨公路 5 种场景, 如图 9 所示:

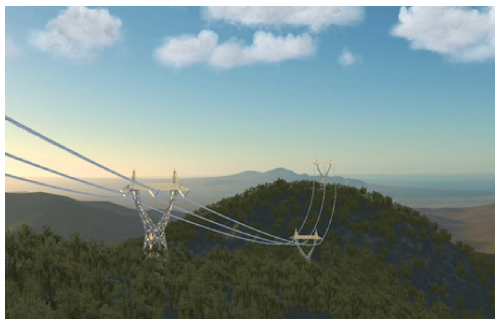


图 9 大视景仿真

Fig. 9 Large visual simulation

3.3 电网巡检操作培训及考评

实现在培训和考试两大模式下的常规巡检、精细化巡检、树障巡检、灾情巡检 4 种业务操作; 实时计算无人机距离杆塔或输电线的空间距离, 实时计算拍照角度, 用于考评打分, 如图 10 所示。

4 结论

无人机电网巡检培训考试系统实现了输电网日常巡检场景中业务培训和考评, 有效降低新手培训



图 10 无人机电网巡检操作

Fig. 10 UAV power grid inspection operation

成本, 提高了无人机巡检的培训效率, 具有重要的实用价值, 为推进智能巡检的行业战略迈出坚实一步。标准的安全距离和操作提示, 可充分增强巡检人员的安全操作意识。内置标准考评参数, 避免了传统人工培训模式中个人主观判断影响。

无人机电网巡检培训考试系统虽然解决了不同天气状况、不同巡检模式下的培训问题, 但仍存在输电线路工况信息缺失。如何模拟巡检无人机受输电线路电磁场空间分布影响, 及对应的无人机控制操作培训仿真是下一步的研究重点。

参考文献:

- [1] 杨喆, 邓超怡. 无人机在特高压输电线路巡检中的应用研究 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(增刊 1): 135-138.
YANG Z, DENG C Y. Research and application of UHV transmission line inspection based on unmanned aerial vehicle [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(Supp. 1): 135-138.
- [2] 许志海, 李德洋, 苏艳军. 基于无人机激光雷达技术的输电线路巡检方案研究 [C]//第六届输电年会论文集, 2018, 41-52.
- [3] 陈永波, 林昌年, 李军锋, 等. 沉浸式变电站仿真培训系统的设计与实现 [J]. 电网技术, 2015, 39(7): 2034-2039.
CHEN Y B, LIN C N, LI J F, et al. Research and development of immersive simulation training system [J]. Power System Technology, 2015, 39(7): 2034-2039.
- [4] 刘健, 谢旭, 牛四清, 等. 电网调控仿真培训系统设计与实现 [J]. 电力系统自动化, 2013, 37(13): 127-131.
LIU J, XIE X, NIU S Q, et al. Design and development of dispatcher training simulator for integrated dispatching and control [J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(13): 127-131.
- [5] 彭向阳, 钱金菊, 麦晓明, 等. 大型无人直升机电力线路全自动巡检技术及应用 [J]. 南方电网技术, 2016, 10(2): 24-31+76.
PENG X Y, QIAN J J, MAI X M, et al. Automatic power

- line inspection technology on large unmanned helicopter and its application [J]. Southern Power System Technology, 2016, 10(2): 24-31+76.
- [6] 徐伟, 严逸. 基于 DDS 的分布式视景仿真技术 [J]. 指挥信息系统与技术, 2017, 8(4): 88-92.
XU W, YAN Y. Distributed visual simulation technology based on data distribution service(DDS) [J]. Command Information System and Technology, 2017, 8(4): 88-92.
- [7] 高思华. 飞行员飞行操控训练系统的研究与实现 [D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [8] 梁小红, 刘少强. 虚拟环境中的软体碰撞检测技术综述 [J]. 计算机与数字工程, 2007(3): 24-28+120.
LIANG X H, LIU S Q. Collision detection for deformable objects in virtual environment [J]. Computer & Digital Engineering, 2007(3): 24-28+120.
- [9] 于瑞云, 赵金龙, 余龙, 等. 结合轴对齐包围盒和空间划分的碰撞检测算法 [J]. 中国图像图形学报, 2018, 23(12): 1925-1937.
YU R Y, ZHAO J L, YU L, et al. Collision detection algorithm based on AABB bounding box and space division [J]. Journal of Image and Graphics, 2018, 23(12): 1925-1937.
- [10] 孙劲光, 吴素红. 基于空间分割与椭圆包围盒的碰撞检测算

- 法 [J]. 计算机工程与应用, 2016, 52(4): 217-222.
SUN J G, WU S H. Collision detection algorithm based on ellipsoid bounding box and spatial decomposition [J]. Computer Engineering and Applications, 2016, 52(4): 217-222.
- [11] 周云波, 闫清东, 李宏才. 虚拟环境中碰撞检测算法分析 [J]. 系统仿真学报, 2006(增刊1): 103-107.
ZHOU Y B, YAN Q D, LI H C. Collision detection algorithms analysis in virtual environment [J]. Journal of system simulation, 2006(Supp. 1): 103-107.

作者简介:



HUANG J

黄晶(通信作者)

1988-, 女, 土家族, 湖南湘西自治州人, 工程师, 硕士, 主要从事电力空间信息、电网信息化研究等方面工作(email)huangjing@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)

