

[线路巡检]

输电线路人机协同巡检模式的研究与应用

文/安徽送变电工程有限公司 许家文 阴酉龙 刘小双 雷家杰 张太雷

中国电力科学研究院有限公司 陈 怡

近年来,利用无人机进行输电线路巡检已在国网系统各单位广泛开展,其高效、高质的特点受到一线作业人员的普遍好评。但目前无人机巡检尚未形成一套完整的作业体系,飞行巡视、数据存储和缺陷识别等环节仍然相对独立。针对现有研究的不足,提出了人机协同巡检模式。

无人机在电力系统中的应用已趋于普遍,尤其在输电线路巡视方面更是极大地提高了作业的效率和质量。目前,国内利用无人机进行可见光巡视的技术逐渐成熟,其大致流程分为:到达塔位、飞行巡视、图片传输和数据处理。虽然步骤不多,但各个阶段之间相互独立,并未形成一套完整的巡检体系。基于此问题,国内众多科研及应用单位开展了相关研究。该文基于目前无人机在输电线路巡视中的应用及发展情况,对限制其进一步发展的瓶颈进行了突破,提出了“人机协同”巡检理念。该文的创新点主要有以下几点:

1)设计了一款移动巡检APP,该APP可以完成输电线路巡视的签到、可见光拍摄及数据传输。

2)开发了后台图片管理系统,使拍摄的图片可以根据不同的工作进行自动分类,并具有上传、查看和下载功能。

3)引入了缺陷智能识别系统,该系统可以对无人机所拍摄的杆塔图片进行缺陷智能识别,无需人工手动干预,缺陷识别准确率达到80%以上,极大地提升了作业的效率和质量。

移动巡检APP

1. 设计原理

移动巡检APP按照企业架构的设计方法,结合国内外先进架构技术的发展方向,引入信息物理融合理念,在遵从总体信息化策略的基础上,充分应用互联网企业架构理念,改变传统集中式架构模式,打造“移动前端+管控后台”架构模式。以企业核心业务能力为基础,构建企业级共享服务中心,支撑前端应用的灵活创新,并实现核心业务云化,创新应用属地化的柔性应用模式。

业务应用基于目前主流的B/S开发架构技术,支持主流中间件,融合主流、成熟的开源软件,如SpringBoot、SpringMVC、Mybatis和Redis等等。采用微服务分布式的开发系统架构,支持多种数据库,如MySQL、Oracle等。使用分层设计,分为service、controller和view层,层次清楚,低耦合,高内聚。严格遵循web安全的规范,前后台双重验证,参数编码传输,密码md5加密存储,shiro权限验证,从根本上避免了SQL注入、XSS攻击和CSRF攻击等常见的web攻击手段。技术实现流程简单,概括为以Springboot2.0和SpringFramework为核心

容器, SpringMVC 为模型视图控制器, MyBatis 为数据访问层, ApacheShiro 为权限授权层, Ehcache

对常用数据进行缓存, Activit 为工作流引擎, 总体设计框架如图 1 所示。

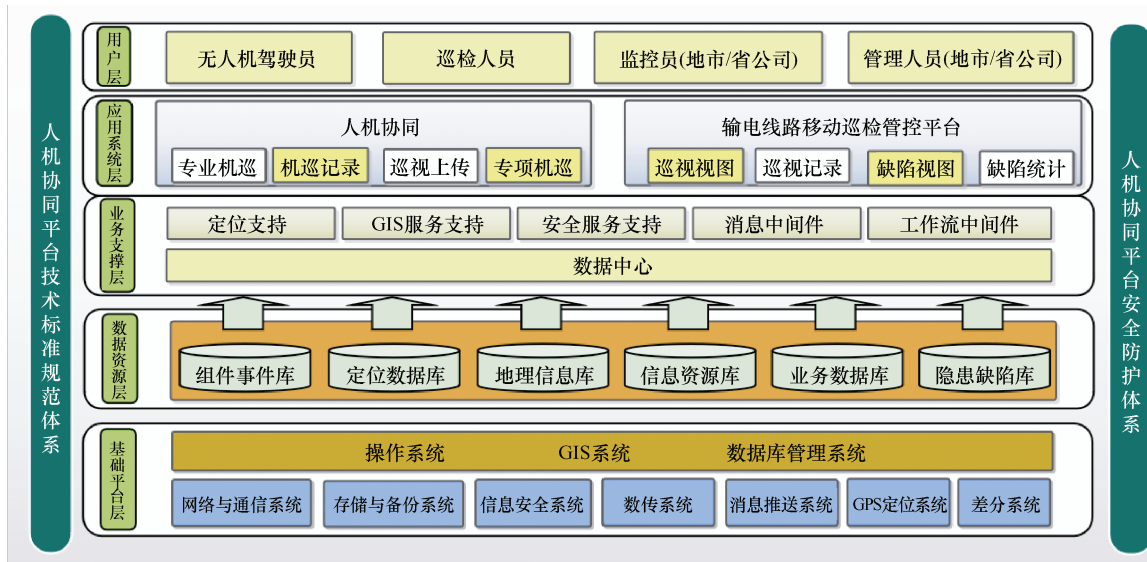


图 1 移动巡检 APP 总体设计框架

从图 1 中可以看出, 平台架构分为基础平台层、数据资源层、业务支撑层、应用系统层和用户层。其中基础支撑层采用 Tomca 作为应用服务器, 数据资源层采用 Oracle 作为数据库服务器, 业务支撑层采用定位支持、GIS 服务支持、安全服务支持、消息中间件和工作流中

间件作为业务组件, 应用系统层具备无人机巡视、数据上传和后台管控等功能, 巡视人员和管理人员进行互动, 构成人机协同的无人机综合管控系统。

2. 巡视流程

移动巡检 APP 的巡视流程如图 2 所示。

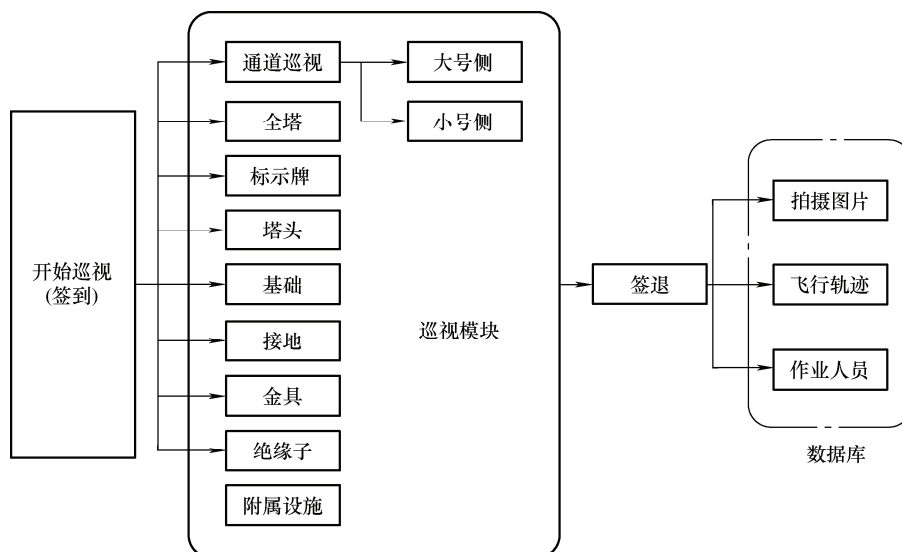


图 2 巡视流程

从图 2 可以看出, 在无人机巡视作业流程中, 作业人员按照杆塔的各个部位进行拍照。在巡视到位率方面, 常规人工巡视必须在距离杆塔附近几米的范围内才可进

行签到及签退工作, 而无人机巡视则不强调作业人员距离杆塔的位置, 只需无人机离杆塔坐标 50 m 内即可进行作业签到及签退。同时, 作业人员的个人信息、无

人机飞行的轨迹和拍摄的图片实时上传至后台数据库。

现场应用

1. 安全及权限管理

在移动巡检 APP 中选择巡检用户、大疆账号和巡视杆塔等信息,进行系统初始化。进入功能界面后,系统自动判断飞机类型,若为 RTK 飞机,则自动提示登录千寻账号,实现网络差分功能。

2. 基础页面功能

基础页面主要包括地图视窗和相机视窗,如图 3 和图 4 所示。



图 3 地图视窗



图 4 相机视窗

从图 3 和图 4 中可以看出,地图视窗包括实时飞行参数、可用电量提示栏、基础状态信息、待巡视杆塔、巡视模式选择、切换视窗和切换雷达图七个部分。相机视窗包括飞行状态信息、相机控制栏、相机参数设置、相机设置菜单、相机参数、飞行信息和设备状态信息七个部分。

3. 现场巡视

(1) 飞行安全自检

当用无人机启动时,程序自动进行飞行安全检查。

飞行安全检查主要涉及飞行作业时所要考虑的常规因素,如图 5 所示。



图 5 飞行安全自检

从图 5 中可以看出,飞行安全自检包括无人机信号连接、指南针校准、卫星数量获取、禁飞区检测、遥控器自检、返航点获取、相机存储卡容量检测、手机内存卡容量检测、无人机电池电量检测和巡航点上传十个方面。当确认自检正常后,作业人员即可操控无人机进行巡视作业。

(2) 飞行巡航提示

无人机在飞行过程中,实时对比自身位置与即将巡视杆塔的位置。在无人机离待巡视杆塔 50 m 左右时,移动巡检 APP 界面自动弹出已到达杆塔信息框,提示是否进行巡视操作,如果确认,则按要求进行作业,如图 6 所示。



图 6 杆塔信息框

从图 6 中可以看出,当无人机到达杆塔附近时,主界面弹出作业提示。如果范围内存在多个杆塔,则可以手动选择所要巡视的杆塔。其中确认巡视相当于巡视签到,并实时回传巡视状态。

(3) 手动巡视作业

待确认巡视杆塔后,无人机进入作业模式,进行手

动巡视作业，其界面如图7所示。



图7 巡视作业界面

从图7中可以看出，主界面的右下角有作业步骤提示框。作业人员需按照提示框中的内容和顺序对巡视杆塔进行拍摄。当巡视完成后，点击结束按钮终止本杆塔巡视，此时系统自动默认巡视签退。随后系统自动弹出距离无人机50m范围内的杆塔，并提示是否继续巡视或者返航。此时作业人员若对此次巡视不满意，可以再次对此杆塔进行巡视。若对此次巡视满意，可以选择继续巡视其他杆塔或者返航。

(4) 数据传输

为保障飞行安全，无人机在飞行过程中，只实时回传拍摄图片的缩略图。待飞行完成降落后，再将本次巡视的照片等数据传至移动巡检APP，数据传输界面如图8所示。



图8 数据传输界面

从图8可以看出，待无人机降落后，系统自动将巡视图片传输至移动巡检APP。

图片管理

1. 图片上传与存储

(1) 图片上传

1) 缩略图。缩略图由原图生成并上传至服务器，主

要用于及时反馈巡检到位率及数据统计。

2) 水印图。在缩略图上标注水印。水印内容为巡视人员、巡视时间、巡视杆塔号和巡视部位。

3) 原图。无人机巡视拍摄的原始图片，每张图片大小10MB左右。系统根据输电线路杆塔命名规则自动重新命名，并按设定的分层文件格式，存入数据存储服务器。

(2) 图片存储

图片的存储方式分为五层结构。第一层为线路名称；第二层为杆塔号；第三层为巡视年度；第四层为巡视月份；第五层为按标准命名规范格式存储的原始照片文件，具体结构图如图9所示。



图9 原图存储方式结构图

从图9可以看出，无人机拍摄的图片按照五层结构进行存储，标示清晰，命名规范，方便后期查看与下载。

2. 图片查看与下载

(1) 图片查看

无人机巡视的图片可以在巡视记录中查看。无人机巡视的图片在页面上展示的是缩略图，点击放大以后，系统自动加载水印图片。

(2) 图片下载

查看的水印图片中有下载按钮，点击下载后，可以对单张照片的原图进行下载。

(3) 批量下载

该功能须远程访问文件存储服务器，选择指定的目录，即可批量下载该目录下的所有巡视照片原图。

巡视图片的查看与下载界面如图10所示。

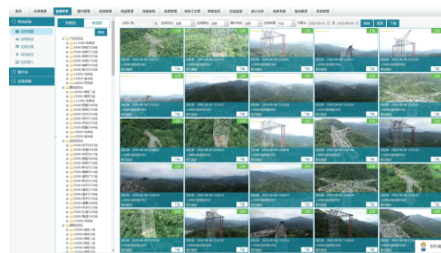


图10 巡视图片的查看与下载界面

3. 图片存储需求

无人机巡视中产生的相关照片属性及存储需求见

表 1 和表 2。

表 1 机巡数据照片类型表

文件类型	文件大小	目录结构	命名格式	存储位置
缩略图	2~30 KB	ydxj/日期/巡视人 id/图片名称	线路名+杆塔号+部位名称+缩略图	应用服务器
水印图	约 800 KB	ydxj/日期/巡视人 id/图片名称	线路名+杆塔号+部位名称+原图	应用服务器
原图	4~10 MB	线路名称/杆塔号/年度/月份/图片名称	线路名+杆塔号+部位名称	存储服务器

表 2 机巡数据照片存储分析表

文件类型	文件大小	平均巡视杆塔/日	平均照片数/基	月均天数	年存储空间需求
缩略图	2~30 KB	200 基	10 张	20	约 14.4 GB
水印图	约 800 KB	200 基	10 张	20	约 400 GB
原图	4~10 MB	200 基	10 张	20	约 2.4 TB

从表 1 和表 2 可以看出，缩略图和水印图由于数据量较小，对存储方式没有太高的要求，主要部署于应用服务器，后期随着巡视的发展可能会迁移至本地服务器上。但巡视原图由于数据量较大，部署于本地的存储服务器。无人机巡视图片的管理流程如图 11 所示。

从图 11 可以看出，无人机巡视图片的管理方式，由左至右分别为客户端、应用服务器和存储服务器，由上至下分为图片上传与存储和图片查看与下载。其中客户端为现场巡视人员的移动巡检 APP 和后台管理终端。应用服务器是图片上传、存储、查看和下载的主要支持设备并负责存储缩略图和水印图。存储服务器为设置的大容量移动硬盘，负责存储拍摄原图，并支持原图的单张和批量下载。

数据处理

无人机巡检的数据处理主要是可见光照片的缺陷识别。传统的人工识别需要作业人员靠肉眼去观察大量的图片。不仅工作量大，效率低，而且容易遗漏缺陷。为此，该文引入了一套智能算法，该算法可以自动识别、标注缺陷，如图 12 和图 13 所示。

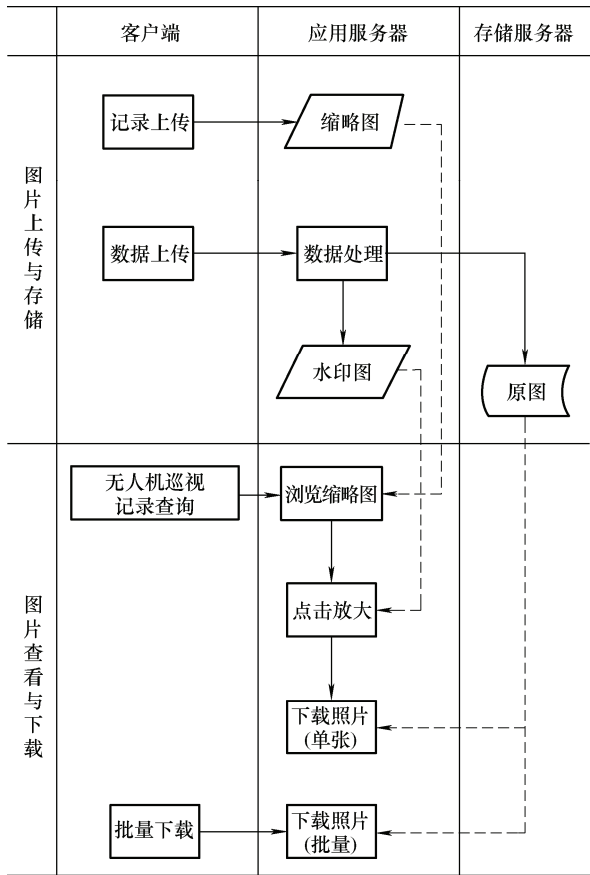


图 11 无人机巡视图片管理流程图



图 12 缺销钉

类似于图 12 和图 13 中缺销钉、缺螺母等肉眼难以发现的细小缺陷，这套算法能精准锁定，主要缺陷识别

准确率超 80%，有效保障了输电线路本体安全。



图 13 缺螺母

结束语

该文基于无人机在输电线路中运维现状，提出了人机协同巡检模式，其结论如下：

1) 研发了一款移动巡检 APP。该 APP 不仅具有配合无人机对目标杆塔进行可见光拍照的功能，同时在拍

摄过程中和拍摄后能及时上传拍摄数据，防止后期数据丢失和漏传。

2) 搭建了企业级的后台图片管理系统。无人机在现场拍摄的图片能够根据需要进行分类和回传，并可自动标注水印、自主命名和按层分类存储，管理人员能够根据需要对拍摄的照片进行查看和下载。

3) 引入了一套缺陷智能识别系统。该系统可以依靠先进的算法，自动识别各类缺陷，有效地提升了输电线路巡视的智能化水平。

4) 此移动巡检 APP 虽然极大地提高了作业人员的工作效率和质量，降低了作业人员的劳动强度，但该文所介绍的无人机巡视方式仍以人工作业为主，需要作业人员在现场手动操纵无人机，对作业人员的操纵水平有一定的要求。因此，能否针对每个杆塔设定其自身的航线，使作业人员在现场一键起飞，无人机全过程自主巡检，无需手动干预，是后续研究的方向。EA

植根西部沃土，孕育智联之花

—— 魏德米勒亮相 2021 成都国际工业博览会

新一轮工业革命方兴未艾，全球工业数字化转型迈向纵深。在中国，有关数字工业、智能制造的设想和愿景越来越多地变为现实应用，也正在从经济发达地区蔓延向生机勃勃的中国西部。

春夏之交，正值 2021 年成都国际工业博览会召开之际，全球电气联接与自动化技术的领先厂商魏德米勒公司携其全线电气联接、自动化与数字化创新解决方案亮相蓉城，这也是魏德米勒首次在中国西部的这座大城市进行正式展出。

此次展会，围绕工业以太网交换机、总线通信耦合器、工业路由器、无线 AP、u-control 基于 IIoT 的控制系统以及电源解决方案构成了魏德米勒的数字化和自动化创新板块，同时，紧凑型重载+刀片重载、OMNIMATE 4.0、端子和工作场所解决方案等同样也是面向西部地区的重量级电气联接解决方案。重磅新品及明星解决方案的集中展示也恰恰体现了魏德米勒一直所坚持和践行的“创新无处不在”“智能解决方案提供者”的品牌价值理念。

传统的电气联接技术正在变得越来越数字化和智能化。魏德米勒亚太区电气柜产品事业部总监 Lars Kosubek 表示魏德米勒始终秉持创新精神，紧跟时代步伐，使联接变得越来越智能，为客户提供建造电气机柜的完整解决方案，涵盖设计、安装到操作在内的各个环节，实现装配电气机柜的集成过程。



图 展会现场

成都作为中国重要的工业制造产业的战略核心区，其影响力辐射了整个成渝地区乃至西部各省。作为魏德米勒西部高级销售大区经理，卢言君为近年来中国西部地区的制造业崛起和公司业务的快速发展颇感兴奋。

据介绍，除了业绩的迅速增长，魏德米勒如今在西部地区已经从传统的电力行业应用扩展到光伏新能源、机械制造及轨道交通等更加广泛的领域。其应用的产品，也开始从传统的电气联接元器件扩展到智能联接解决方案与自动化创新技术方面。“尽管与发达地区的自动化应用水平还有所差距，但随着成渝经济圈的快速发展，包括成渝轨道交通网规划的出炉，在这一地区我们将迎来更大的发展潜力”，卢言君说道，“凭借强大的技术创新能力，良好的品牌口碑和贴心的客户服务能力，坚持以本土客户为本的魏德米勒势必在这一沃土生根发芽，结出硕果。”（来源：魏德米勒）