

团 体 标 准

T/CES XXX-XXXX

电力巡检无人机边缘智能终端技术规范  
Technical specification of the edge intelligent  
terminal for power inspection based on UAV  
(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 录

1 范围.....1

2 规范性引用文件 .....1

3 术语和定义.....1

4 总体要求 .....3

5 实时目标和缺陷检测与定位 .....4

    5.1 缺陷检测算法研发 .....4

    5.2 技术要求 .....4

    5.3 目标识别方法 .....4

    5.4 目标识别流程 .....5

    5.5 实时温度预警 .....6

    5.6 检测精度要求 .....6

    5.7 指导文档.....7

6 高精度 AI 辅助抓拍.....7

    6.1 高精度 AI 辅助抓拍算法研发 .....7

    6.2 技术要求 .....7

    6.3 高精度 AI 辅助抓拍算法.....8

    6.4 工作流程 .....8

    6.5 操作文档.....9

7 智能感应曝光.....9

    7.1 智能感应曝光研发 .....9

    7.2 技术要求 .....9

    7.3 工作流程 .....9

    7.4 指导文档.....10

8 边云互联与超视距操控 .....10

    8.1 边云互联与超视距操控研发 .....10

    8.2 技术要求 .....10

    8.3 功能描述 .....11

    8.4 指导文档.....11

9 无人机边缘智能终端有效性评价与算法优化 .....12

    9.1 无人机边缘智能终端有效性评价过程 .....12

    9.2 算法优化 .....12

10 无人机边缘智能终端接口标准 .....13

10.1 标准化接口 .....13

10.2 接口功能.....13

11 无人机边缘智能终端研发过程 .....13

11.1 无人机边缘智能终端性能梳理 .....13

11.2 算法流程制定 .....13

附 录 A （资料性附录）无人机边缘智能终端技术指标 .....15

附 录 B （资料性附录）识别效果 .....16

附 录 C （资料性附录）智能感应曝光示例 .....17

附 录 D （资料性附录）AI 辅助抓拍示例 .....18

## 前 言

本标准按照 GB/T1.1—2009《标准化工作导则 第1部分 标准的结构与编写》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由国网河南省电力公司电力科学研究院和北京御航智能科技有限公司共同提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会能源智慧化工作组归口。

本标准起草单位：国网河南省电力公司电力科学研究院、北京御航智能科技有限公司、国网信息通信产业集团有限公司、国网江苏省电力有限公司泰州供电分公司、国网智能科技股份有限公司、中移（成都）产业研究院、华北电力大学、中国地质大学（北京）、西南大学、电子科技大学、天津大学、国网山西省电力公司电力科学研究院、国网江西省电力有限公司电力科学研究院、中移（成都）信息通信科技有限公司。

本标准主要起草人（按对标准的贡献大小排列）：郭志民、高小伟、谭启昀、李炳森、戴永东、田杨阳、王万国、刘越、周剑、翟永杰、赵振兵、王祝、王丹丹、王跃宾、李月臣、行敏锋、朱介北、王卫卫、芦竹茂、胡京、陈田、王涛、孔祥。

本标准为首次发布。

## 1 范围

本标准规定了电力巡检无人机边缘智能终端的技术规范。

本标准适用于日常和应急电力巡检过程中,采用无人机作为低空领域图像采集的主要作业手段,对输电、配电、变电站中的设施、设备进行智能无人化全自主巡检的所有业务。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 2009.51	电工术语 架空线路
DL/T 741-2010	架空输电线路运行规程
DL/T 664-2008	带电设备红外诊断技术应用导则
DL/T 969-2005	变电站运行导则
Q/HW 519-2010	配电网运行规程
Q/GDW 382	配电网自动化技术导则

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 缺陷智能检测 Intelligent Defect Detection

通过计算机视觉中的目标检测技术对缺陷进行智能检测。

### 3.2 缺陷 Defect

根据电网设备和部件的类型,建立输电与变电、配电领域的典型缺陷。

### 3.3 平均检测耗时 Average Detection Time

平均检测是在指定硬件配置下,从图像输入缺陷检测模型,到输出缺陷检测结果的过程,平均每张图片所耗费的计算时间。

### 3.4 边缘计算 Edge Computing

边缘计算,是指在靠近物或数据源头的一侧,采用网络、计算、存储、应用核心能力为一体的开放平台,就近提供最近端服务。

### 3.5 输电线路巡视检查 Transmission Equipment Inspection

工作人员用眼睛或用望远镜以及其他工具和仪器对输电线路的各部件进行观察、检查和测量。目的是为掌握线路的运行状况、及时发现设备缺陷和威胁线路安全的问题。由于架空线路分布很广，又长期处于露天之下运行，所以经常会受到周围环境和大自然变化的影响，由于配电线路设备种类较输电线路多而复杂，巡视时除对输电线路进行巡视检查外，还应对特殊设备进行巡视。

### 3.6 故障巡视 Fault Inspection

当线路发生故障跳闸时，应立即组织巡视，叫故障巡视。故障巡视的目的在于及时查明线路发生故障的原因，找出故障位置并查明故障造成的破坏情况，以便准备抢修器材和研究抢修办法，并制定防止类似故障的措施。

### 3.7 模型部署 Model Deployment

把封装好的算法模型部署到云侧、边侧、端侧。

### 3.8 实时动态定位 RTK Real - time Kinematic

在 GPS 测量中，如静态、快速静态、动态测量都需要事后进行解算才能获得厘米级的精度，而 RTK (Real - time kinematic) 实时差分定位是一种能够在野外实时得到厘米级定位精度的测量方法，它的出现极大地提高了野外作业效率。

### 3.9 目标跟踪 Object Tracking

目标跟踪是计算机视觉领域的一个重要问题，目前广泛应用在体育赛事转播、安防监控和无人机、无人车、机器人等领域。

### 3.10 特征金字塔 Feature Pyramid Network

特征金字塔是用于检测不同尺度的对象的识别系统中的基本组件。多尺度上识别目标是计算机视觉的一个挑战，通过提取多尺度的特征信息进行融合，进而提高模型精度。

### 3.11 感受野 Receptive Field

感受野，感受器受刺激兴奋时，通过感受器官中的向心神经元将神经冲动（各种感觉信息）传到上位中枢，一个神经元所反应（支配）的刺激区域就叫做神经元的感受野。

### 3.12 上采样 Upsampling

上采样就是采集模拟信号的样本。

### 3.13 卷积 Convolution

在泛函分析中，卷积、旋积或褶积是通过两个函数  $f$  和  $g$  生成第三个函数的一种数学算子，表征函数  $f$  与  $g$  经过翻转和平移的重叠部分函数值乘积对重叠长度的积分。

### 3.14 感兴趣区域 Region of Interest

机器视觉、图像处理中，从被处理的图像以方框、圆、椭圆、不规则多边形等方式勾勒出需要处理的区域，称为感兴趣区域，ROI。在 Halcon、OpenCV、Matlab 等机器视觉软件上常用到各种算子 (Operator) 和函数来求得感兴趣区域 ROI，并进行图像的下一步处理。

### 3.15 非极大值抑制 Non-Maximum Suppression

非极大值抑制顾名思义就是抑制不是极大值的元素，可以理解为局部最大搜索。这个局部代表的是一个邻域，邻域有两个参数可变，一是邻域的维数，二是邻域的大小。

### 3.16 交并比 Intersection-over-Union

交并比（Intersection-over-Union, IoU），目标检测中使用的一个概念，是产生的候选框（candidate bound）与原标记框（ground truth bound）的交叠率，即它们的交集与并集的比值。最理想情况是完全重叠，即比值为 1。

### 3.17 置信度 Confidence

置信度表示算法输出的矩形框中含有目标的可能性大小，数值为 0 到 1。

### 3.18 智能网关 Smart Gateway

智能网关是网络设备，是局域网络智能化的关键，一般支持虚拟网络接入、wifi 接入、有线宽带接入等，通过它可实现对局域网内各传感器、网络设备、摄像头以及主机等设备的信息采集、信息输入、信息输出、集中控制、远程控制、联动控制等功能。

### 3.19 超视距 Beyond Visual Distance

指在目视无法看到目标的距离以外进行，这个距离的长短目前尚未有明确而且统一的规定。

## 4 总体要求

- 4.1 基于无人机边缘智能终端的电力巡检工作应贯彻“实用性强、安全性高及可操作性强”的方针，严格执行《国家电网公司电力安全工作规程》的有关规定。
- 4.2 无人机边缘智能终端在电力巡检中，应具备实时目标和缺陷检测与定位、实时温度检测、高精度 AI 辅助抓拍、智能感应曝光、边云互联、超视距操控等功能，以满足该行业自主智能巡检需求。
- 4.3 无人机边缘智能终端的运行成果应体现在实时、动态、交互的了解和掌握输变配网等应用场景下的所有目标设施、设备的运行状态，采用定期与应急巡视检查相结合的方法，智能化完成巡检任务，确保工作智能、有序、高效。
- 4.4 无人机边缘智能终端应积极推行设施设备状态管理理念，开展设施设备状态评价，逐步实现更加智能化、高效的输变配电网巡检。
- 4.5 电力巡检工作应充分发挥输变配电自动化与智能化的优势，推广应用各种信息技术与现场巡视检查作业平台，并采用智能化、标准化作业手段，不断提升运行工作水平与

效率。

4.6 针对无人机边缘智能终端的功能开发工作应建立运行岗位责任制，明确分工，应有专业人员负责。

4.7 输变配电网运行人员应熟悉、执行本规范，可根据本规范编制实施细则。

4.8 运行单位需根据历年反事故措施、安全措施的要求和运行经验，在实现电力巡检无人机边缘智能终端过程中，应力求创新式将无人机、无线通讯与边缘 AI 结合在一起。

## 5 实时目标和缺陷检测与定位

### 5.1 缺陷检测算法研发

5.1.1 缺陷检测算法研发应包括技术要求梳理过程。

5.1.2 缺陷检测算法研发应包括算法选择过程。

5.1.3 缺陷检测算法研发应包括算法流程制定过程。

5.1.4 缺陷检测算法研发应包括精度评价过程。

5.1.5 缺陷检测算法研发应包括指导文档编写过程。

### 5.2 技术要求

5.2.1 可实现无人机图像实时监测。

5.2.2 可实现电力部件的识别。

5.2.3 可实现电力缺陷的识别。

5.2.4 部件检测应只检测图片中主要部件，忽略图片背景中的同类部件。

5.2.5 若部件结构复杂，应进一步检测部件中的细分部件。

5.2.6 可满足各种场景下的识别要求，场景类别如通道巡检、杆塔精细化巡检。

5.2.7 可实现图像温度预警。

5.2.8 温度预警检测算法应至少包含温度矩阵获取、部件检测和发热判定三个模块。

5.2.9 部件是否发热应结合部件最高温度和相对温升共同判定，判定标准应参照DL/T 664-2008执行。

5.2.10 部件的最高温度应选择部件检测框中的最大温度值。

5.2.11 相对温升应计算部件检测框中最大温度值和最小温度值的差或者和部件连接的导线温度值的差。

### 5.3 目标识别方法

5.3.1 应优先采用基于深度学习的目标识别方法以适用于电力智能巡检需求。

5.3.2 目标识别方法应提供识别参数阈值调整范围，确保适用于电力巡检各种缺陷识别。



5.3.3 基于深度学习的目标识别算法包括两种模式，应结合算法本身优势及应用场景综合抉择目标识别方法：

a. 单阶段目标识别算法，例如以 YOLO、SSD 等目标识别算法系列为代表，单阶段目标识别算法其优势在于识别速度快；

b. 双阶段目标识别算法，例如以 Faster RCNN、Cascade RCNN 等目标识别算法系列为代表，双阶段目标识别算法其优势较单阶段识别算法在于识别精度稍高；

5.3.4 应有目标识别方法相关指标评价文件。

## 5.4 目标识别流程

5.4.1 开展目标识别工作前，应检查无人机边缘智能终端是否部署了最新版识别模型。

5.4.2 工作人员分为组长、研发人员、测试人员。

5.4.3 前端设备自动获取拍摄数据。

5.4.4 调用封装智能 AI 模块对拍摄数据进行识别与定位。

### （1）生成图像金字塔

图像金字塔最初用于机器视觉和图像压缩，一幅图像的金字塔是一系列以金字塔形状排列的分辨率逐步降低，且来源于同一张原始图的图像集合。其通过梯次向下采样获得，直到达到某个终止条件才停止采样。金字塔的底部是待处理图像的高分辨率表示，而顶部是低分辨率的近似。

### （2）生成感兴趣区域

需要产生目标可能存在的感兴趣区域（Region of Interest, ROI）。因为一张图片中含有大量背景信息，一个可行的方法是先产生目标可能存在的大致区域，再对这些感兴趣区域进行微调。对感兴趣区域提取特征，用于后续的分类及回归。

### （3）特征提取及分类

特征提取的目的是对感兴趣区域寻找一种具有代表性的表征方式，并进一步用于分类、回归等任务。在目标检测中，通常会用预训练好的分类模型进行视觉特征的提取，因为分类模型提取的视觉特征具有很好的通用性。

### （4）非极大值抑制

在完成前几步后，得到一系列包含目标的 bounding box，但这些 boxes 有大量重合区域，所以需要对其进行筛选重组，如非极大值抑制（Non Maximum Suppression, NMS），使得每个目标由单一 box 框定。

5.4.5 输出所识别目标的坐标及置信度。

5.4.6 输出结果。

## 5.5 实时温度预警

5.5.1 应充分考虑输变配电中不同的应用场景，选取方法满足缺陷目标实时温度预警需求，例如红外实时温度预警方法。

5.5.2 实时温度预警应支持自动选取待检测目标识别范围。

5.5.3 实时温度预警应实现平均温度和最高温度值预测。

5.5.4 实现实时温度预警时应充分考虑所依赖的硬件设备载荷。

5.5.5 实时温度预警应在平台显示预警的温度，预警效果示例如图 1。

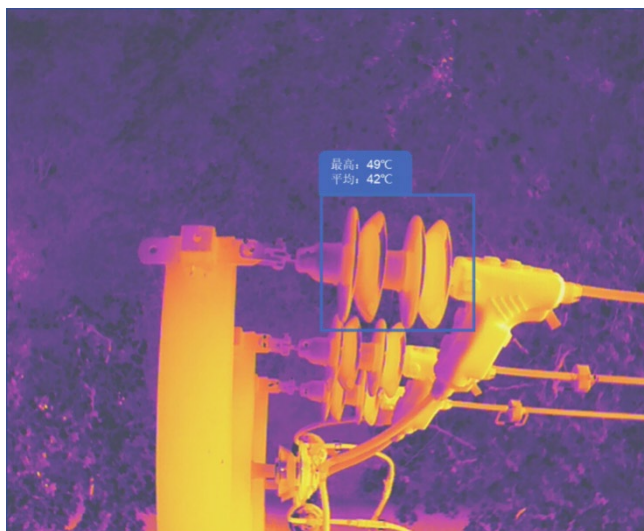


图 1 实时温度预警

## 5.6 检测精度要求

5.6.1 评价指标主要由准确率、召回率、单张图片平均检测耗时组成，见附录 A。

5.6.2 计算评价指标时，使用的测试数据缺陷总数量应为标注缺陷和人工核查去除重复后的算法检测缺陷取并集的数量。

5.6.3 算法上线应满足召回率不低于 85%。

5.6.4 算法上线应满足准确率不低于 50%。

5.6.5 算法上线应满足单张图片目标识别平均检测时效不低于 30FPS，目标识别+跟踪不低于 30FPS。

5.6.6 若存在多个算法满足上线条件，应挑选召回率分数值最高的算法上线。

## 5.7 指导文档

- 5.7.1 应由算法开发人员和电力业务运维人员共同编写标注指导文档。
- 5.7.2 文档应包含版本号、编辑时间、审批通过时间、修订时间等信息。
- 5.7.3 文档应包含任务来源、工作地点、场景描述等概括性描述。
- 5.7.4 文档应包含该技术的应用方式或应用场景。
- 5.7.5 文档应明确智能 AI 模块中的深度学习框架。
- 5.7.6 文档应明确智能 AI 模块中的目标识别算法。
- 5.7.7 文档中操作步骤应至少给出 1 种典型示例图，示例图见附录 B。

## 6 高精度 AI 辅助抓拍

### 6.1 高精度 AI 辅助抓拍算法研发

- 6.1.1 高精度 AI 辅助抓拍算法研发的过程应包括技术要求分析。
- 6.1.2 高精度 AI 辅助抓拍算法研发的过程应包括算法实现。
- 6.1.3 高精度 AI 辅助抓拍算法研发的过程应包括工作流程制定。
- 6.1.4 高精度 AI 辅助抓拍算法研发的过程应包括指导文档编写。

### 6.2 技术要求

- 6.2.1 可自动识别关键部件。
- 6.2.2 可针对绝缘子挂点、地线挂点、绝缘子、连接金具、悬垂线夹等电力部件进行高精度识别。
- 6.2.3 可实现对相机和云台的全方位实时控制。
- 6.2.4 可实现对相机和云台的校正控制。
- 6.2.5 可自动控制云台锁定关键部件的拍摄位置。
- 6.2.6 可控制云台及载荷进行精确对准、变焦放大、精确对焦、抓拍等操作，如图 2。

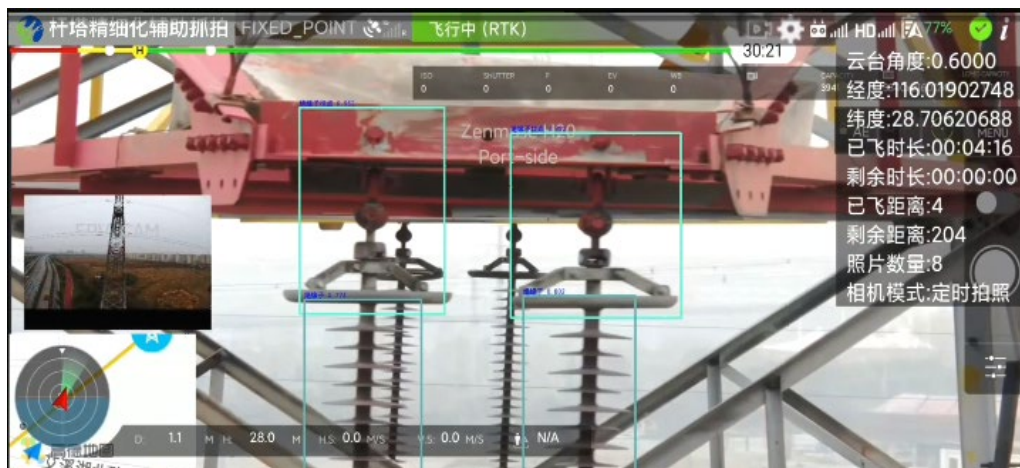


图 2 部件精确对焦

### 6.3 高精度 AI 辅助抓拍算法

#### 6.3.1 构建关键拍照部位的样本库

分析存在的关键拍照点位，搜集已有巡检图像，在已有巡检图像基础上构建标记样本库。

#### 6.3.2 开发及训练关键拍照部位的识别模型

通过建模方法，对关键拍照点位样本库进行训练学习，研究模型的优化调参，提升模型的识别精度。

#### 6.3.3 识别模型精简和优化

训练出的识别模型进行高性能的精简和优化，在保证识别精度的前提下，满足边缘端 AI 芯片算力要求，极大化的提升 AI 识别的效率。

#### 6.3.4 实现部件目标识别

调用部件模型实现相关部件目标识别与定位，输出目标位置信息。

#### 6.3.5 锁定目标

控制云台锁定目标，自动控制云台相机识别、对准居中、变焦、拍照控制，保障拍摄图像中目标物的占幅比，确保采集的图像有效率更高、更清晰、更聚焦。

### 6.4 工作流程

6.4.1 开展工作前，应组织人员学习指导文档，并让工作人员尝试实景操作系统，熟练度应达到 96%以上方可上岗。

6.4.2 操作人员分为组长、无人机操控人员、维修人员，指定组长 1 人，其中无人机操控人员应有半年以上的操作经验。

6.4.3 在执行任务前应确保无人机能够正常使用。

6.4.4 高精度 AI 辅助拍照任务由无人机搭载的 AI 边缘智能终端来完成，紧急状况下需无人机操控人员辅助。

## 6.5 操作文档

6.5.1 应由算法开发人员和电力业务运维人员共同编写标注指导文档。

6.5.2 文档应包含版本号、编辑时间、审批通过时间、修订时间等信息。

6.5.3 文档应包含任务来源、工作地点、场景描述等概括性描述。

6.5.4 文档应包含该技术的应用方式或应用场景。

6.5.5 文档应明确正确的操作方式。

6.5.6 文档中操作步骤应至少给出 1 种典型示例图，示例图见附录 D。

## 7 智能感应曝光

### 7.1 智能感应曝光研发

7.1.1 智能感应曝光研发的过程应包括技术要求梳理，应考虑不同场景下进行整体设计。

7.1.2 智能感应曝光研发的过程应包括工作流程制定，应首先考虑无人机自主飞行过程中是否存在过曝或者欠曝现象，若存在过曝或者欠曝现象应如何调整曝光参数。

7.1.3 智能感应曝光研发的过程应包括指导文档编写，至少包含算法源码注释、说明文档两部分。

### 7.2 技术要求

7.2.1 可识别关键拍摄目标的光照亮度。

7.2.2 可智能调节相机焦环的曝光量。

7.2.3 此任务需配合无人机搭载的 AI 边缘智能终端来完成。

### 7.3 工作流程

- 7.3.1 开展工作前，应组织人员学习指导文档，并让人员尝试实景操作系统，熟练度应达到 96%以上方可上岗。
- 7.3.2 操作人员分为组长、研发人员、无人机操控人员、维修人员，指定组长 1 人，其中无人机操控人员应有半年以上的操作经验。
- 7.3.3 在执行任务前应确保无人机能够正常使用。
- 7.3.4 此任务在飞行状态下来自完成。
- 7.3.5 智能感应曝光应首先判断该场景下是否存在过曝或者欠曝的现象。
- 7.3.6 电力巡检过程中若存在过曝或者欠曝的现象，应通过调整相机参数快速实现曝光量调节。

## 7.4 指导文档

- 7.4.1 应由算法开发人员和电力业务运维人员共同编写标注指导文档。
- 7.4.2 文档应包含版本号、编辑时间、审批通过时间、修订时间等信息。
- 7.4.3 文档应包含任务来源、工作地点、场景描述等概括性描述。
- 7.4.4 文档应包含该技术的应用方式或应用场景。
- 7.4.5 文档应明确是否为逆光拍摄的判断方法。
- 7.4.6 文档应明确逆光拍摄云台自动调整方法。
- 7.4.7 文档中操作步骤应至少给出 1 种典型示例图，示例图见附录 C。

## 8 边云互联与超视距操控

### 8.1 边云互联与超视距操控研发

- 8.1.1 边云互联与超视距操控研发的过程应包括技术要求梳理。
- 8.1.2 边云互联与超视距操控研发的过程应包括功能实现与分析。
- 8.1.3 边云互联与超视距操控研发的过程应包括指导文档的编写。

### 8.2 技术要求

- 8.2.1 应内置通讯模组。
- 8.2.2 可实现实时数据传输。
- 8.2.3 可实时将视频和图像回传到后端平台。
- 8.2.4 可在飞行时发布任务指令。

8.2.5 可实现超视距操控。

### 8.3 功能描述

#### 8.3.1 实时数据传输

- (1) 实时数据传输应包括实时接收回传数据和显示无人机飞行状态，实现边云互联。
- (2) 数据传输功能应包括且不限于对视频数据的传输及图像数据的传输。
- (3) 数据传输至平台后可通过电脑端或手机端即可实现数据查看、修改、报警、统计、分析等。
- (4) 在条件允许得情况下，应优先使用5G网络或利用其他信息技术实现低时延数据传输，如图3。
- (5) 应对每台设备制定维保周期以及记录相关的维保文档。

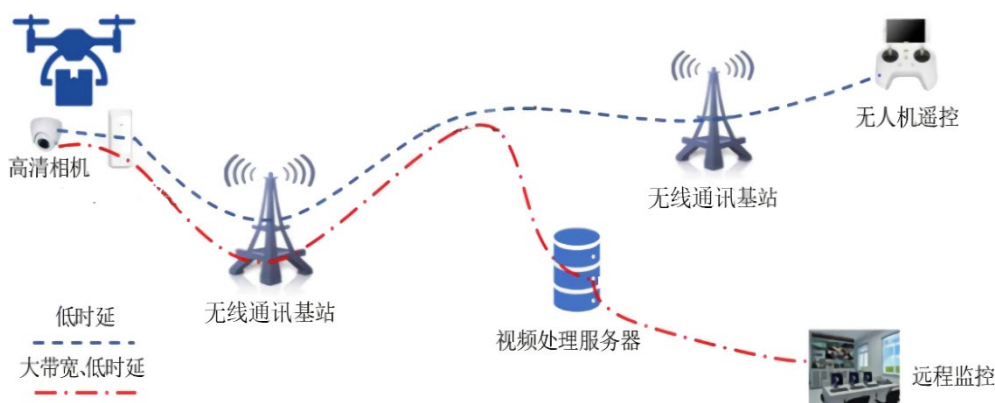


图 3 数据信息传输架构图

#### 8.3.2 超视距操控

- (1) 应保证无人机边缘智能终端可实时与无线通讯模组进行通讯。
- (2) 应保证无人机边缘智能终端可完成对无人机远程操控。
- (3) 无人机操控系统与无人机之间的通讯应不再单纯依赖无人机自带的数据链路和图传系统。

### 8.4 指导文档

- 8.4.1 应由算法开发人员和电力业务运维人员共同编写标注指导文档。
- 8.4.2 文档应包含版本号、编辑时间、审批通过时间、修订时间等信息。
- 8.4.3 文档应包含任务来源、工作地点、场景描述等概括性描述。
- 8.4.4 文档应包含该技术的应用方式或应用场景。
- 8.4.5 文档应明确无线数据传输操作方法。

8.4.6 文档应明确发布任务指令操作方法。

## 9 无人机边缘智能终端有效性评价与算法优化

### 9.1 无人机边缘智能终端有效性评价过程

有效性评价过程应包含真实场景测试。

有效性评价过程应包含目标检测结果核查。

有效性评价过程应包含阶段性测试评价。

有效性评价过程应包括验证性报告的编写。

#### 9.1.1 真实场景测试

- (1) 根据项目方法，每个测试场景应至少与一个需求或用户故事相关联。
- (2) 在创建一次验证多个需求的测试场景之前，确保有一个测试场景，可以单独检查。
- (3) 避免创建跨越多个要求的过于复杂的测试场景。
- (4) 当场景的数量很大并且运行成本很高时，根据优先级，仅运行选定的测试方案。

#### 9.1.2 检测结果核查

- (1) 应对算法测试的结果与数据标注员的标注结果进行比对来核查算法检测结果。
- (2) 检测结果核查应至少包含两轮核查。
- (3) 每轮核查中，属于同一类缺陷的检测结果应统一由一名电力业务人员进行。
- (4) 不同轮核查同一缺陷的电力业务人员不应相同。
- (5) 核查过程中应分别记录不同缺陷类型的检测结果数量。
- (6) 核查过程中应记录不同缺陷类型去除重复后的算法检测结果数量。

#### 9.1.3 阶段性测试

- (1) 无人机边缘智能终端第一阶段应可实现高精度 AI 辅助拍照、实时目标和缺陷检测、定位智能感应曝光、实时温度检测的功能。
- (2) 无人机边缘智能终端第二阶段应增加边云互联、超视距操控的功能。
- (3) 无人机边缘智能终端应可结合技术发展，拓展新功能以满足智能电力巡检需求。

#### 9.1.4 验证性报告

- (1) 验证性报告的发布应该做到时间明确、数据准确。
- (2) 电力巡检报告至少应包括以下内容：测试人员、日期、测试气象条件、测试方法和现场记录的数据以及数据处理的过程及结果等内容。
- (3) 验证性报告应可为电力智能巡检方案制定提供有效支撑。

### 9.2 算法优化

9.2.1 算法优化应包含技术测试、分析报告编写、算法更新、和算法上线五部分。

9.2.2 算法优化周期应不超过 1 个月。

9.2.3 算法应有优化版本记录文档，详细记录不同版本算法的优化时间、上线时间。

9.2.4 数据导出后应发给算法研究人员，分析数据后形成该版本算法的检测报告。

9.2.5 分析报告应对算法不足进行归类并分析原因。

9.2.6 算法研究人员应使用调整算法并更新算法。



9.2.7 算法研究人员应采用更新后的算法重新测试，检测结果无问题后再上线。

## 10 无人机边缘智能终端接口标准

### 10.1 标准化接口

10.1.1 无人机边缘智能终端接口包括 Type-C、常规 USB、网口等

10.1.2 可与常见旋翼或垂直起降固定翼机型无缝对接。

### 10.2 接口功能

10.2.1 网口用于连接以太网。

10.2.2 Micro-HDMI 接口用于连接显示器。

10.2.3 Micro-USB 接口用于软硬件调试。

10.2.4 Type-C 接口连接 OSDK，用于与飞控系统实时交互。

10.2.5 常规 USB 接口用于连接其它产品，如图 11。



图 1 无人机边缘智能终端接口标准

## 11 无人机边缘智能终端研发过程

### 11.1 无人机边缘智能终端性能梳理

11.1.1 无人机边缘智能终端性能梳理应制定相关产品规格。

11.1.2 应描述无人机边缘智能终端尺寸、重量。

11.1.3 应描述无人机边缘智能终端产品扩展性。

11.1.4 应描述无人机边缘智能终端可搭载平台。

11.1.5 应描述无人机边缘智能终端工作温度。

11.1.6 应描述无人机边缘智能终端工业防护等级。

11.1.7 应描述无人机边缘智能终端功耗。

### 11.2 算法流程制定

11.2.1 实时目标和缺陷检测与定位技术制定。

11.2.2 缺陷检测算法应至少包含部件检测和缺陷检测两个模块。

11.2.3 温度预警检测算法应至少包含温度矩阵获取、部件检测和发热判定三个模块。

### 11.3 算法工程构建

11.3.1 算法工程构建应至少包含算法源码、相关模型和说明文档三个部分。

11.3.2 算法源码应统一存放于同一个文件夹中。

11.3.3 算法模型部分应包含算法所用的全部模型文件,单个模型文件的命名应至少包含算法名称、检测目标。

11.3.4 说明文档应至少包含算法检测缺陷名称、算法工程结构、重要代码注释。

附 录 A  
(资料性附录)  
无人机边缘智能终端技术指标

无 人 机 边 缘 智 能 终 端	计 算 精 度	准确率 $\geq 50\%$ 召回率 $\geq 85\%$	在作业现场实时识别情况下， 准确率= $TP / (TP + FP)$ 召回率= $TP / (TP + FN)$ 其中 TP(True Positives)表示识别目标被正确分类的数量； FP(False Positives)表示被错误分类的数量； FN(False Negatives)表示错误分类的背景数量。
	算 力	本系统采用 NVIDIA Pascal™ 架构，配有 256 个 NVIDIA CUDA Core 1.3 TFLOPS (FP16) 以及双核 Denver 2 64 位 CPU 和四核 ARM A57 Complex，可实现目标识别 30FPS 目标识别+跟踪 15FPS	FPS 每秒传输帧数 (Frames Per Second)

附录 B  
(资料性附录)  
识别效果

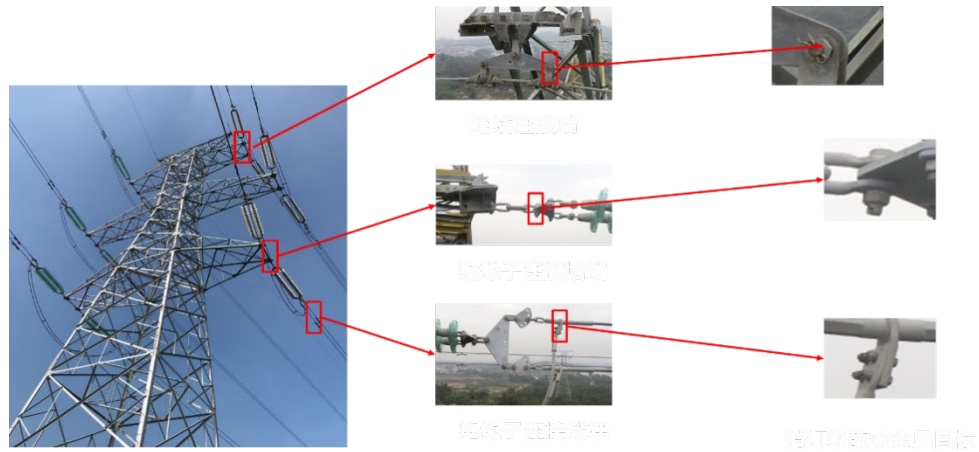


图 B1 对连接金具的识别效果

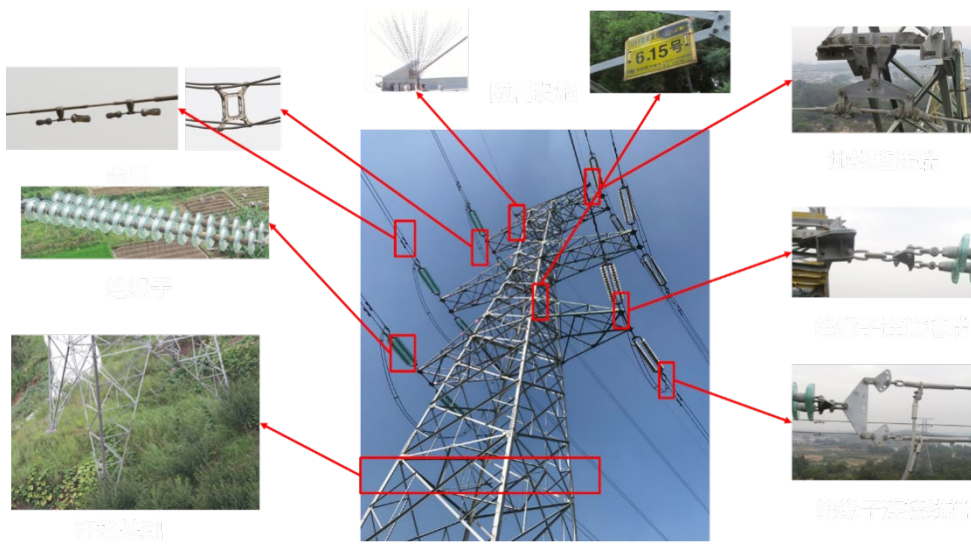


图 B2 对杆塔整体的识别效果

附录 C  
(资料性附录)  
智能感应曝光示例



图 C 智能感应曝光示例

附 录 D  
(资料性附录)  
AI 辅助抓拍示例



图 D 高精度 AI 辅助抓拍示例