

团体标准

T/CESA XXXX—2022 T/CES XXX—2022

面向输电线路的工业 AI 视觉在线检测系统 技术规范

Technical specification for AI industrial vision online inspection system for
transmission line

征求意见稿

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国电子工业标准化技术协会
中国电工技术学会

发布



版权保护文件

版权所有归属于该标准的发布机构，除非有其他规定，否则未经许可，此发行物及其章节不得以其他形式或任何手段进行复制、再版或使用，包括电子版，影印件，或发布在互联网及内部网络等。使用许可可于发布机构获取。

目次

前 言..... III

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 缩略语..... 2

5 基本结构..... 2

6 功能要求..... 3

 6.1 图像采集模块..... 3

 6.2 AI 图像处理平台 3

 6.3 应用服务模块..... 3

 6.4 运维管理模块..... 4

7 性能要求..... 4

 7.1 系统检测速度..... 4

 7.2 位置定位精度..... 4

 7.3 异常识别精度..... 4

 7.4 类型识别精度..... 4

 7.5 读数识别精度..... 5

8 测试方法..... 5

 8.1 功能测试..... 5

 8.2 性能测试..... 6

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国电子技术标准化研究院提出。

本文件由中国电子技术标准化研究院、中国电子工业标准化技术协会、中国电工技术学会归口。

本文件起草单位：山东大学、中国电子技术标准化研究院、华北电力大学（保定）、国网信息通信产业集团有限公司、浙江大华技术股份有限公司、华为技术有限公司、南京南瑞信息通信科技有限公司、智洋创新科技股份有限公司、国网浙江省电力有限公司温州供电公司、北京御航智能科技有限公司、哈尔滨工业大学（深圳）、贵州电网有限责任公司电力科学研究院、上海发电设备成套设计研究院有限责任公司、国网江苏省电力有限公司苏州供电分公司、杭州海康威视数字技术股份有限公司、深圳思谋信息科技有限公司、国家能源集团新能源技术研究院有限公司、广东电网有限责任公司信息中心、……。

本文件主要起草人：XXXX。

本文件为首次发布。

面向输电线路的工业 AI 视觉在线检测系统技术规范

1 范围

本文件规定了面向输电线路的工业AI视觉在线检测系统的基本结构、功能要求和性能要求，描述了对应的测试方法。

本文件适用于在输电巡检领域中，具备设备检测和环境检测功能的工业AI视觉在线检测系统的规划、设计和实施。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 2900.1 电工术语 基本术语

GB/T 5271.34 信息技术 词汇 第34部分：人工智能 神经网络

3 术语和定义

GB/T 2900.1、GB/T 5271.34界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

正检 true positive

对于有异常的检测样本，识别为有异常的检测结果。

3.2

误检 false positive

对于无异常的检测样本，识别为无异常的检测结果。

3.3

漏检 false negative

对于有异常的检测样本，识别为无异常的检测结果。

3.4

系统检测速度 system detection speed

单个样品从到达系统指定位置做图像采集开始，到AI图像处理输出检测结果所消耗的时间。

3.5

位置定位精度 accuracy of positioning

对位置定位的准确性度量，适用于评估设备缺陷检测和环境隐患检测等异常检测应用中的位置定位精度，包含定位精确率、定位召回率和mAP。

3.6

异常识别精度 accuracy of abnormal recognition

对异常类型识别的准确性度量，适用于评估设备缺陷检测和环境隐患检测等异常检测应用中的类型识别精度，包含误检率、漏检率、异常识别准确率。

3.7

类型识别精度 accuracy of classification

对类型识别的准确性度量，适用于评估开关闭合状态识别、天气状况识别和等级判定等分类任务的分类精度，包含分类精确率、分类召回率和分类准确率。

3.8

读数识别精度 accuracy of digital recognition

读数识别正确的图像数目与测试图像总数的比例，适用于评估表计读数识别的精度。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

- AI：人工智能（Artificial Intelligence）
- FTP：文件传输协议（File Transfer Protocol）
- GIGE：千兆以太网通信协议（GIGabit Ethernet）
- IoU：交并比（Intersection over Union）
- mAP：平均精度（mean Average Precision）
- SMTP：简单邮件传输协议（Simple Mail Transfer Protocol）
- TCP：传输控制协议（Transmission Control Protocol）
- UDP：用户数据报协议（User Datagram Protocol）

5 基本结构

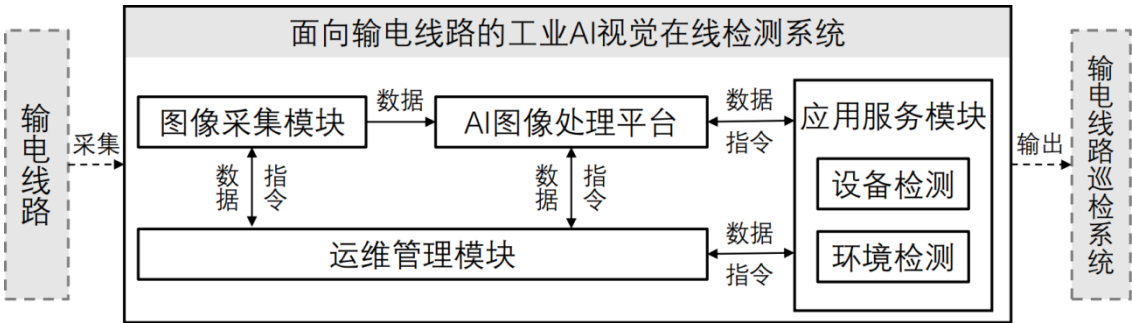


图1 面向输电线路的工业AI视觉在线检测系统基本结构

面向输电线路的工业AI视觉在线检测系统基本架构见图1，包括图像采集模块、AI图像处理平台、运维管理模块和应用服务模块。

- a) 图像采集模块包括摄像机与镜头,用于采集输电线路中,电力设备和周边环境的数字图像信号。所采集图像用于传输至 AI 图像处理平台进行检测,并缓存于运维管理模块。其中的相机与镜头要接受运维管理模块的调控,动态调整参数与配置。
- b) AI 图像处理平台包括模型的训练、验证、更新和部署,以及数据标注等功能,用于对采集自输电线路的图像进行检测,并将检测结果反馈至应用服务模块。其中,模型和数据的处理要接受运维管理模块和应用服务模块的调控,以根据运维和应用需求动态调整模型和数据。并且,其检测结果可缓存至运维管理模块,以供后续的分析。
- c) 应用服务模块用于根据 AI 图像处理平台的检测结果,面向用户提供设备检测和环境检测功能。其数据可缓存至运维管理模块以供统计与分析,并需要接受运维管理模块的调控以动态调整应用配置。
- d) 运维管理模块用于对图像采集模块、AI 图像处理平台和应用服务模块进行参数配置和管理,并提供数据缓存、检测结果的统计与分析、历史告警信息查询等功能。

6 功能要求

6.1 图像采集模块

图像采集模块应支持如下基本功能:

- a) 应支持可见光成像、红外热成像等一种或多种图像成像方式;
- b) 应支持受控和自动图像采集模式,采集间隔可设置;
- c) 应支持强光抑制、背光补偿、图像降噪、电子去雾、居中对准、AI 对焦变焦等一种或多种图像增强方式;
- d) 图像传输应支持 FTP、TCP、UDP、SMTP、GIGE 等一种或多种传输协议;
- e) 图像传输应支持 USB、LoRa、ZigBee 等一种或多种传输接口;
- f) 可见光成像像素应支持 200W、500W、1200W、2500W、2900W 等一种或多种分辨率;
- g) 红外热成像像素应支持 160×120、240×180、320×240、384×288、640×480 等一种或多种分辨率;
- h) 图像成像文件格式应支持 PNG、JPEG、TIFF、BMP 等一种或多种格式;
- i) 图像采集宜支持叠加采集时间、采集地点等信息。

6.2 AI 图像处理平台

AI 图像处理平台应支持如下基本功能:

- a) 应支持数据的准备和标注;
- b) 应支持 AI 模型的训练、部署和更新;
- c) 宜支持图像质量检测与筛选,滤除无法正常识别的低质量图像;
- d) 宜支持图像几何变换、图像滤波、图像归一化、图像插值等一种或多种图像预处理方式。

6.3 应用服务模块

应用服务模块应支持如下基本功能:

6.3.1 设备检测

- a) 应支持杆塔、导线金具、绝缘子等电力设备中外观缺陷的位置定位、类型识别和等级判定;
- b) 应支持温度表、电压表等表计的读数识别;

- c) 宜支持输电线路的热成像检测。

6.3.2 环境检测

- a) 应支持浓雾、积水、覆冰等天气状况的类型识别；
- b) 应支持违规施工、人员动物入侵、烟火等周边隐患的位置定位、类型识别和等级判定；
- c) 宜支持鸟巢、藤蔓等外部异物的位置定位、类型识别和等级判定。

6.4 运维管理模块

运维管理模块应支持如下基本功能：

6.4.1 管理与维护

- a) 应支持远程查看终端设备的运行状态；
- b) 应支持远程设置终端设备的运行参数；
- c) 应支持对系统配置信息的增、删、改、查等操作；
- d) 应支持系统自检、系统故障诊断及诊断信息上报等系统维护功能；
- e) 应支持权限管理、任务管理、日志管理等辅助管理功能。

6.4.2 远程巡视

- a) 应支持远程查看现场实时画面，以及历史图片和视频；
- b) 宜支持立即巡视、定时巡视和周期巡视等一种或多种巡视方式；
- c) 宜支持配置巡视点位，规划巡视路径等功能。

6.4.3 数据统计与分析

- a) 应支持采集图像、检测结果和告警信息的存储、导出和查询；
- b) 宜支持异常的类型统计、时段分析等一种或多种统计分析功能。

7 性能要求

7.1 系统检测速度

面向输电线路的工业AI视觉在线检测系统的单张图像平均检测耗时宜不超过10s。

7.2 位置定位精度

在IoU阈值为0.5时，面向输电线路的工业AI视觉在线检测系统的定位精确率宜不低于85%，定位召回率宜不低于85%，mAP宜不低于80%。

7.3 异常识别精度

面向输电线路的工业AI视觉在线检测系统的误检率宜不高于15%，漏检率宜不高于15%，异常识别准确率宜不低于80%。

7.4 类型识别精度

面向输电线路的工业AI视觉在线检测系统的分类精确率宜不低于85%，分类召回率宜不低于85%，分类准确率宜不低于80%。

7.5 读数识别精度

在相对误差阈值为5%时，面向输电线路的工业AI视觉在线检测系统的读数识别准确率宜不低于85%。

8 测试方法

8.1 功能测试

8.1.1 图像采集模块

图像采集模块测试方法如下：

- 在面向输电线路的工业 AI 视觉在线检测系统中运行图像采集模块；
- 检查图像采集模块能够支持可见光成像、红外热成像等一种或多种图像成像方式；
- 检查图像采集模块能够支持受控和自动图像采集模式，采集间隔可设置；
- 检查图像采集模块能够支持强光抑制、背光补偿、图像降噪、电子去雾、居中对准、AI 对焦变焦等一种或多种图像增强方式；
- 检查图像传输能够支持 FTP、TCP、UDP、SMTP、GIGE 等一种或多种传输协议；
- 检查图像传输能够支持 USB、LoRa、ZigBee 等一种或多种传输接口；
- 检查可见光成像像素能够支持 200W、500W、1200W、2500W、2900W 等一种或多种分辨率；
- 检查红外热成像像素能够支持 160×120、240×180、320×240、384×288、640×480 等一种或多种分辨率；
- 检查图像成像文件格式能够支持 PNG、JPEG、TIFF、BMP 等一种或多种格式。

8.1.2 AI 图像处理平台

AI图像处理平台测试方法如下：

- 在面向输电线路的工业 AI 视觉在线检测系统中运行 AI 图像处理平台；
- 检查 AI 图像处理平台能够支持数据的准备和标注；
- 检查 AI 图像处理平台能够支持 AI 模型的训练、部署和更新。

8.1.3 应用服务模块

应用服务模块测试方法如下：

- 在面向输电线路的工业 AI 视觉在线检测系统中运行应用服务模块；
- 检查应用服务模块能够支持杆塔、导线金具、绝缘子等电力设备中外观缺陷的位置定位、类型识别和等级判定；
- 检查应用服务模块能够支持温度表、电压表等表计的读数识别；
- 检查应用服务模块能够支持浓雾、积水、覆冰等天气状况的类型识别；
- 检查应用服务模块能够支持违规施工、人员动物入侵、烟火等周边隐患的位置定位、类型识别和等级判定。

8.1.4 运维管理模块

运维管理模块测试方法如下：

- 在面向输电线路的工业 AI 视觉在线检测系统中运行运维管理模块；
- 检查运维管理模块能够支持远程查看终端设备的运行状态；
- 检查运维管理模块能够支持远程设置终端设备的运行参数；

- d) 检查运维管理模块能够支持对系统配置信息的增、删、改、查等操作；
- e) 检查运维管理模块能够支持系统自检、系统故障诊断及诊断信息上报等系统维护功能；
- f) 检查运维管理模块能够支持权限管理、任务管理、日志管理等辅助管理功能；
- g) 检查运维管理模块能够支持远程查看现场实时画面，以及历史图片和视频；
- h) 检查运维管理模块能够支持采集图像、检测结果和告警信息的存储、导出和查询。

8.2 性能测试

8.2.1 系统检测速度

系统检测速度的测试方法如下：

- a) 将数量为 N 的测试图像输入面向输电线路的工业 AI 视觉在线检测系统，对检测结果返回的时间进行统计；
- b) 通过公式（1）计算单张图像的平均检测耗时 T ，其中第 i 张图像输入检测系统的起始时间记为 T_{i1} ，检测结果的输出时间记为 T_{i2} 。

$$T = \frac{\sum_{i=1}^N (T_{i2} - T_{i1})}{N} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

T —单张图像的平均检测耗时；

N —测试图像的总数；

T_{i2} —第 i 张图像检测结果的输出时间；

T_{i1} —第 i 张图像输入检测系统的起始时间。

8.2.2 位置定位精度

位置定位精度的测试方法如下：

- a) 将一定数量的测试图像输入面向输电线路的工业 AI 视觉在线检测系统，对返回的检测框进行统计；
- b) 通过公式（2）计算检测检测框和标注框之间的 IoU ，其中模型返回的检测框的坐标记为 BOX_p ，人工标注框的坐标记为 BOX_g ；

$$IoU = \frac{BOX_p \cap BOX_g}{BOX_p \cup BOX_g} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

BOX_p —检测框的坐标；

BOX_g —标注框的坐标。

- c) $IoU > 0.5$ 且类型识别正确的检测框视为定位正确。
- d) 计算定位精确率、定位召回率和 mAP。

8.2.2.1 定位精确率

对于某一类目标，通过公式（3）计算位置定位的精确率 L_p 。模型预测结果中，该类检测框的数目记为 B_p ，其中定位正确的数目记为 B_t 。

$$L_p = \frac{B_t}{B_p} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

L_p —定位精确率；

B_p —模型预测结果中，该类检测框的总数；

B_t —该类检测框中，定位正确的数目。

8.2.2.2 定位召回率

对于某一类目标，通过公式（4）计算位置定位的召回率 L_r 。样本标注中，该类标注框的数目记为 B_g ，其中被模型正确定位出的数目记为 B_t 。

$$L_r = \frac{B_t}{B_g} \times 100\% \quad \text{..... (4)}$$

式中：

L_r —定位召回率；

B_g —样本标注中，该类标注框的数目；

B_t —该类标注框中，被模型正确定位的数目。

8.2.2.3 mAP

对于所有类别的目标，可通过以下两个步骤计算mAP评估模型的整体定位性能：

a) 首先，对于某一类目标，如图2所示，可通过 $L_p - L_r$ 曲线下面积计算当前类别的平均精度AP。

计算公式如（5）所示。

$$AP = \int_{L_r=0}^1 L_p(L_r) dL_r \quad \text{..... (5)}$$

式中：

AP—平均精度；

L_r —定位召回率；

$L_p(L_r)$ — L_r 处的定位精确率。

b) 然后，对于所有类别，通过公式（6）计算所有类别AP的均值mAP，其中类别数目记为K。

$$mAP = \frac{\sum_{i=1}^K AP_i}{K} \quad \text{..... (6)}$$

式中：

mAP—平均AP；

AP_i —类别i的AP；

K—类别数目。

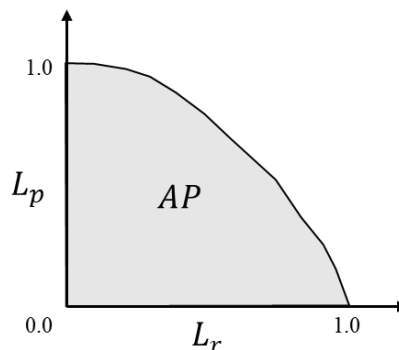


图2 $L_p - L_r$ 曲线示意图

8.2.3 异常识别精度

异常识别精度的测试方法如下：

将一定数量的测试图像输入面向输电线路的工业 AI 视觉在线检测系统，计算漏检率、误检率和异常识别准确率。

8.2.3.1 漏检率

对于某一类异常，通过公式（7）计算异常识别的漏检率 FNR ，其中正检数记为 TP ，漏检数记为 FN 。

$$FNR = \frac{FN}{TP+FN} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

式中：

FNR —漏检率；

FN —漏检数；

TP —正检数。

8.2.3.2 误检率

对于某一类异常，通过公式（8）计算异常识别的误检率 FPR ，其中正检数记为 TP ，误检数记为 F 。

$$FPR = \frac{F}{TP+F} \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

式中：

FPR —误检率；

F —误检数；

TP —正检数。

8.2.3.3 异常识别准确率

通过公式（9）计算异常识别准确率 A_u ，其中正确识别的样本数目记为 U_t ，测试样本总数记为 N 。

$$A_u = \frac{U_t}{N} \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

式中：

A_u —异常识别准确率；

U_t —正确识别的样本数目；

N —测试样本总数。

8.2.4 类型识别精度

类型识别精度的测试方法如下：

将一定数量的测试图像输入面向输电线路的工业 AI 视觉在线检测系统，计算分类精确率、分类召回率和分类准确率。

8.2.4.1 分类精确率

对于某一类别，通过公式（10）计算分类精确率 C_p ，其中分类正确的该类图像数目记为 I_t ，模型预测的该类图像数目记为 I_p 。

$$C_p = \frac{I_t}{I_p} \times 100\% \dots\dots\dots (10)$$

式中：

C_p —分类精确率；

I_t —分类正确的该类图像数目；

I_p —模型预测的该类图像数目。

8.2.4.2 分类召回率

对于某一类别，通过公式（11）计算分类召回率 C_r ，其中分类正确的该类图像数目记为 I_t ，实际标注的该类图像数目记为 I_g 。

$$C_r = \frac{I_t}{I_g} \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

式中：

C_r —分类召回率；

I_t —分类正确的该类图像数目；

I_g —实际标注的该类图像数目。

8.2.4.3 分类准确率

通过公式（12）计算分类准确率 C_a ，其中分类正确的图像数目记为 I_t ，测试图像总数记为 N 。

$$C_a = \frac{I_t}{N} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

式中：

C_a —分类准确率；

I_t —分类正确的图像数目；

N —测试图像总数。

8.2.5 读数识别精度

读数识别精度测试方法如下：

- a) 将数量为 N 的测试图像输入面向输电线路的工业AI视觉在线检测系统，对读数识别进行统计；
- b) 通过公式（13）计算模型识别读数与标注读数的相对误差 E ，其中识别读数记为 S_p ，标注读数记为 S_g 。

$$E = \frac{|S_p - S_g|}{S_g} \dots\dots\dots (13)$$

式中：

E —相对误差；

S_p —识别读数；

S_g —标注读数。

- c) $E < 5\%$ 视为识别正确。通过公式（14）计算读数识别准确率 A_n ，其中读数预测正确的图像数目记为 N_t ，测试图像总数记为 N 。

$$A_n = \frac{N_t}{N} \times 100\% \dots\dots\dots (14)$$

式中：

A_n —读数识别准确率；

N_t —读数预测正确的图像数目；

N —测试图像总数。