

融合卷积神经网络和分布式技术电网作业票 管理系统的设计与实现

赵鑫^{1*} 王东波² 徐冬² 李继征² 冉一丁²

¹(国网烟台供电公司 山东 烟台 264000)

²(山东送变电工程有限公司 山东 济南 250000)

摘要 作业票制度是电网企业进行电力安全生产检修的重要措施,作业票管理系统的可靠高效运行对保障国家电网的高效工作运转,企业的安全生产以及上亿人民群众的日常用电意义重大。针对当前电网作业票签审流转过程中人工签审不便、冒签难以审查、纸质作业票后续存储管理困难等问题,设计一种新型的基于卷积神经网络技术的分布式电网作业票管理系统。引入移动终端技术,实现在线作业票审核、签署、风险评估和远程监控;引入分布式服务端技术,提高系统的稳定性与安全性;引入基于卷积神经网络技术的签名审核以及人脸识别,避免签审流程中的代签、冒签现象。

关键词 作业票 卷积神经网络 分布式架构 移动终端

中图分类号 TP3

文献标志码 A

DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2024.04.003

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF POWER GRID WORK TICKET MANAGEMENT SYSTEM BASED ON CONVOLUTION NEURAL NETWORK AND DISTRIBUTED TECHNOLOGY

Zhao Xin^{1*} Wang Dongbo² Xu Dong² Li Jizheng² Ran Yiding²

¹(State Grid Yantai Power Supply Company, Yantai 264000, Shandong, China)

²(Shandong Electric Power T&T Engineering Co., Ltd., Jinan 250000, Shandong, China)

Abstract The work ticket system is an important measure for power grid enterprises to conduct safety production and maintenance. The reliable and efficient operation of the work ticket management system is of great significance to ensure the efficient operation of the national power grid, the safe production of enterprises and the daily electricity consumption of hundreds of millions of people. Aiming at the inconvenience of manual signing and review during the current grid work ticket signing and circulation process, the difficulty of checking and the subsequent storage management of paper work tickets, this paper designs a new type of distributed grid work ticket management system based on convolutional neural network. Mobile terminal technology was introduced to realize online work ticket audit, signing, risk assessment, and remote monitoring. Distributed server technology was introduced to improve the stability and security of the system. Signature verification technology and face recognition technology based on the convolutional neural network were introduced to avoid counterfeiting in the signing and reviewing process.

Keywords Work ticket Convolutional neural network Distributed architecture Mobile terminal

0 引言

生活对电网供电的需求也日益提高。作业票制度作为电网企业对系统设备进行维护检修时的安全组织措施,为电力系统的安全稳定运行提供了可靠保障^[1-2]。

随着我国国民经济的快速发展,社会生产及人民 电网作业票管理系统运行的安全性、高效性对提高电

网企业的工作效率具有重大意义^[3]。

当前的电网作业票管理系统可以分为以下四种开票方式:手工输入方式、调用模板票方式、图形点击方式、基于专家系统的自动开票方式^[4-5]。相较于传统的人工作业票传递方式,网络流转的传递方式在一定程度上提高了流转效率,减轻了劳动强度。但由于一张作业票的签审流程包括负责人、审核人、签发人等诸多环节,当作业票需要人工签审时,经常会由于签审人员因工作或其他原因无法进行异地手动签字而使签审流程受阻,甚至导致作业票过期作废^[6];如果该作业票采用网络流转签审,身份核对以及冒签便会成为问题。而当作业票签审完成进入执行阶段时,一般的网络作业票系统无法实现实时的施工风险监控;当作业票完成后,纸质作业票也给作业票后续的分类和管理带来了诸多不便^[7]。

针对当前电网作业票管理系统存在的上述问题,本文设计了一种新型分布式智能电网作业票管理系统,利用移动客户端技术,在移动终端上实现作业票填报、流转审批、作业票维护,并在移动端设置风险辨识功能,施工人员可以根据现场风险情况进行施工和实时反馈,实现了作业票业务的入口统一、线上办理、全过程线上反馈的闭环管理模式。而服务端采用分布式架构设计,提供稳定高效的服务。并引入基于卷积神经网络技术的智能识别系统,避免审核流程中的代签、冒签问题。

1 作业票流程概述

图1是电网作业票管理系统的流转流程,共包括以下四步:

(1) 作业票发起阶段。发起作业票的工作人员,即作业票负责人,根据作业要求在现有作业票模板库的基础上创建本次作业票,根据该作业票的实施工序从作业票风险库中提取每道工序对应的风险,包括风险内容、风险发生后果、风险等级、预控措施以及相应作业部位风险等级增加的因素,生成各作业工序的风险管控计划,并指定各工序作业人员。当负责人确认创建后,作业票将进入作业票签审阶段。

(2) 作业票签审阶段。签审人员对作业票各个工序进行审核,如存在预期风险高于最高风险等级的工序将会拒绝通过作业票,作业票负责人将会实时收到反馈对作业票工序进行修改,如所有工序均审核通过,签审人员将会对整个作业票进行签署确认,进入施工作业阶段。

(3) 施工作业阶段。当作业票签审完成后,进入

施工作业阶段。在每个工序的施工作业中,远程的作业票负责人、现场的工序负责人以及现场施工人员以当前工序的风险管控计划为依据,对照得出当前作业部位的现场实际风险等级,只有在风险低于最高风险等级时才能开始施工。在施工过程中,若风险低于最高风险等级,则按照施工规范继续施工。若风险等级超过最高风险等级,则停止作业,待风险解除后再继续作业。每个工序完成后将由现场负责人进行确认,直到所有工序安全的完成。

(4) 作业票完成阶段。当作业票全部施工作业工序完成后,将由作业票负责人进行确认。然后系统基于实际的完整作业工程生成数字化作业票提交存档,并打印纸质作业票存档。

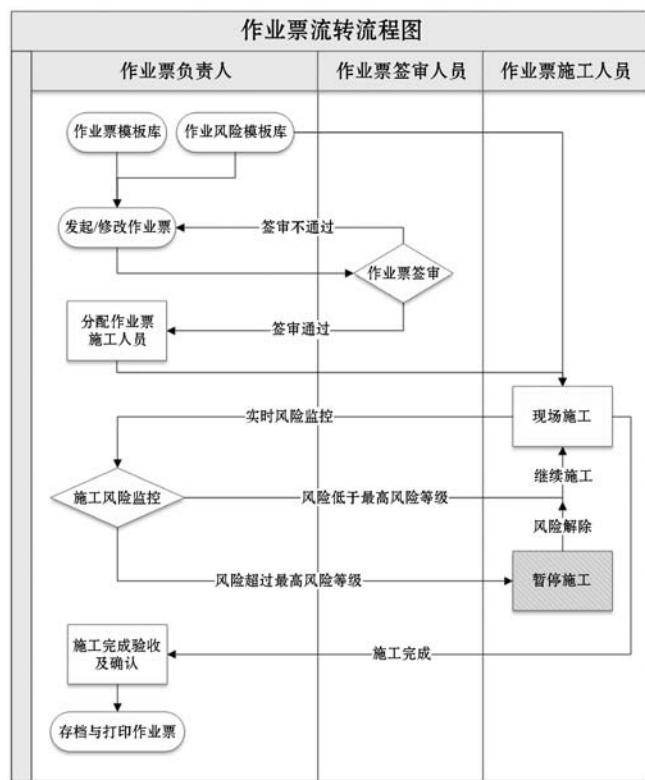


图1 作业票流转流程

该系统实现了作业票负责人,作业人员施工的对全过程的实时风险监控,以施工风险为依据,快速灵活的切换施工状态,为作业人员及电网设备提供了安全保障。对作业票所有确认操作,作业票所有确认操作均会对操作者进行身份审核,包括基于卷积神经网络的签名认证以及人脸识别认证,保证作业票安全高效流转。

2 系统总体设计

2.1 系统总体架构

如图2所示,本文设计的电网作业票管理系统由

数据库、分布式服务端和移动客户端 (App) 三部分组成。移动客户端和分布式服务端的数据传输,分布式服务端与数据库的数据传输,均通过 Restful 接口调用实现松耦合的数据传输^[8]。数据库用于存放作业票模板、作业风险模板、用户信息、作业票数据等诸多数据信息。客户端和服务端均由用户模块、作业票模块和消息推送模块三部分组成。

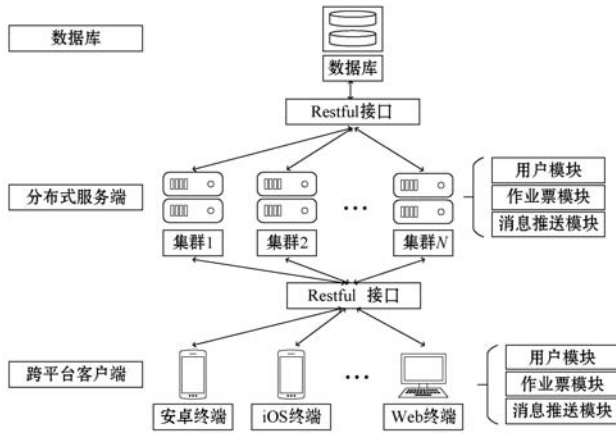


图2 系统组成

2.2 功能设计

系统模块化的设计能够有效提升开发效率以及系统运行稳定性。因此,作业票系统根据需求不同分成了3大类共11个功能模块。如图3所示。各个模块在设计结构上相互独立,在作业票流转时相互关联,支撑作业票正常流转。所有模块接口均采用 Restful 接口以及高内聚设计原则,相互解耦,降低系统维护难度,提高整体稳定性。

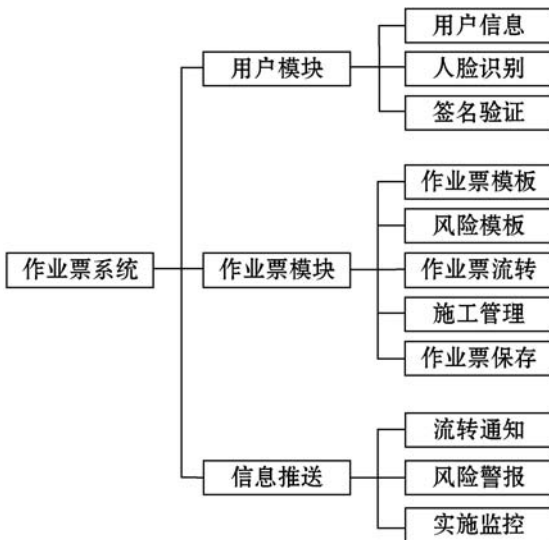


图3 功能设计

2.3 数据设计

根据作业票系统的实际需求以及功能模块设计,数据库的整体结构设计将会如图4所示,包含作业票模板、作业风险模板、作业方案模板,作业条件,用户信

息、班组信息,作业区域等诸多数据信息。



图4 数据设计

3 系统技术架构及实现

图5为电网作业票管理系统的技术架构,逻辑上可系统分为客户端、服务端、数据库三大组件。在技术架构上。服务端层被拆分成网关层、业务层以及持久层,三层均调用核心层提供的核心技术组件以及工具。逻辑结构上的数据库层作为技术结构上的资源层。客户端层作为用户层。

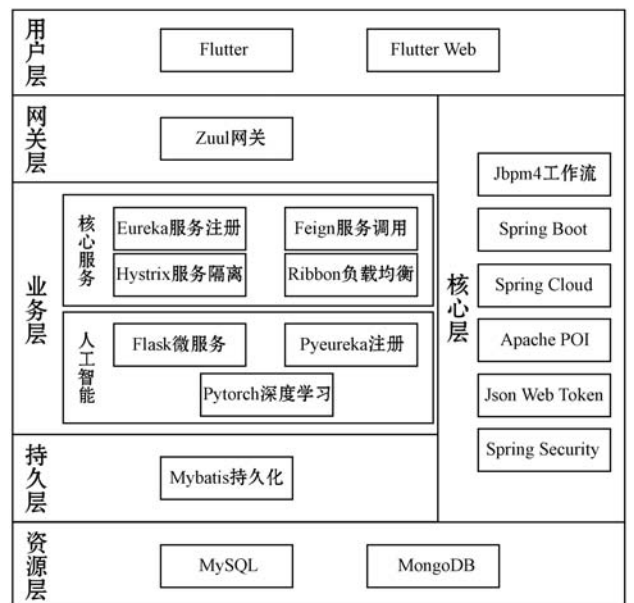


图5 系统技术框架

其中,用户层在本系统中指跨平台的手机或平板的客户端以及 Web 客户端,是实现人机交互的平台。

网关层负责连接用户层与业务层,完成数据传输,并在数据传输时验证 HTTP 请求的合法性、请求参数的有效性、检查用户的操作权限等。

业务层负责处理网关层发送来数据,以实现逻辑业务、事务管理、业务数据校验、人脸以及签名校验等任务。并在处理完成后回传数据至网关层。

持久层是实现业务层和资源层数据交换的中间过渡层,将业务层数据写入资源层,或者从资源层将数据读出发送至业务层^[9]。

资源层是进行数据存储的介质,包括读写作业票模板、作业票数据、用户信息等数据。

核心层是系统的基础类库,为业务层提供事务处理组件、为网关层提供数据校验组件以及权限检查组件等各种组件,为持久层、业务层和网关层的功能实现提供组件支持。整个技术系统均采用 Restful 的应用架构,采用 Java、Python 开发语言,数据存储采用 MySQL 关系型数据库以及 MongoDB 进行数据存储。下文将会按照技术层次架构简述各层次所使用的关键技术。

3.1 用户层

本文所设计系统的用户层为支持跨平台客户端服务以及 Web 端服务,采用谷歌提供的移动 UI 框架 Flutter 进行开发,支持同时编译 iOS、Android 以及基于 Flutter Web 的 Web 端跨平台 App。

3.2 网关层

为提高服务端层端稳定性以及响应速度,本文基于 Spring Cloud 框架将服务端层设计为分布式架构^[10]。对于分布式服务架构,一个高效稳定的网关层是不可或缺的。本文采用 Zuul 作为服务端网关。这种设计可以有效地统一外部服务入口,对内部服务调用以及外部服务请求做到有效隔离,同时对外部服务请求做到高效的权限识别以及黑白名单过滤,提升系统的安全性。Zuul 网关亦支持将请求动态的路由发送到不同的分布式集群,提高服务端的稳定性。并且由于网关的存在,客户端与服务端的数据通信耦合性将会降低,有效降低后期维护难度。

3.3 业务层

在本文设计中,业务层将会被设计成由多个微服务组成的分布式微服务架构。采用微服务架构的优势是可以将不同功能模块的开发分离,使得不同的功能模块可以同时开发,提高开发效率。在部署时可以同时部署多个相同功能的微服务,提高系统响应能力以

及稳定性。业务层分为两个微服务组,其中一个是使用 Java 编写的基于 Spring Cloud 框架开发的分布式核心服务组,主要包括 Eureka 微服务注册中心、用户功能微服务、作业票流转功能微服务以及作业票管理功能微服务。第二个部分是由 Python 编写的基于 PyTorch、Flask、PyEureka 的人工智能服务组,包括基于人工智能技术的人脸识别微服务以及签名验证微服务。

在基于 Spring Cloud 的分布式核心服务组中,利用 Eureka 组件生成微服务注册中心,管理所有微服务的生命周期,便于动态拓展服务部署数量,提升系统的伸缩性。而用户、作业票流转、作业票管理三个微服务则基于 Spring Boot 快速开发。而微服务之间的通过 Feign 进行相互调用,Feign 中的 Ribbon 组件提供负载均衡,有效提高服务整体稳定性。而 Feign 中的 Hystrix 组件提供了服务降级、资源隔离等功能,从而避免局部故障蔓延影响整体系统,引发雪崩效应。

而人工智能服务组中主要实现两大功能,第一个是完整的人脸识别模块,流程如图 6 所示。包括人脸检测、人脸对齐、人脸识别三个部分。第二个为基于卷积神经网络的签名验证模块。两个模块算法部分均采用 Pytorch 进行编写、训练以及预测。然后使用 Flask 封装成微服务并且通过 PyEureka 注册至核心微服务组,并提供 Restful API 供其他微服务调用。在人脸识别模块中,人脸检测部分使用基于卷积神经网络的 RetinaFace^[11]作为检测算法,用于定位图像中的人脸。人脸对齐模块基于 ArcFace alignment^[12],对不同角度的人脸进行矫正,这将提供人脸识别的有效性,提高服务的可用性。在人脸识别模块中,输入人脸将会被基于卷积神经网络结构的 ArcFace recognition 处理转换为 512 维的向量,然后与预存的人脸向量库进行比对,利用余弦距离测算相似度,相似度大于阈值则为同一人脸,相似度低于阈值则为其他人脸。而签名验证将会利用基于孪生卷积神经网络(Siamese Network)^[13]对输入签名以及预存签名进行比对,完成审核。过程与人脸识别中的 ArcFace recognition 比对流程相似。

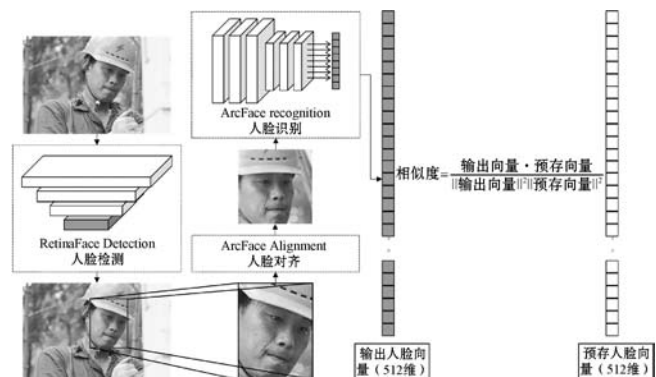


图6 人脸识别

系统中使用的人脸识别模块中,负责人脸检测的 RetinaFace 以及人脸识别的 ArcFace 均需要进行训练。两个模型均在 LFW(Labeled Faces in the Wild)人脸数据集上进行训练。人脸检测模型 RetinaFace 训练的混合损失函数如下:

$$L = L_{cls}(p_i, p_i^*) + \alpha p_i^* L_{box}(t_i, t_i^*) + \beta p_i^* L_{pts}(l_i, l_i^*) + \gamma p_i^* L_{pixel} \quad (1)$$

式中: $L_{cls}(\cdot)$ 表示目标的分类损失, $L_{box}(\cdot)$ 表示目标检测框的回归损失, $L_{pts}(\cdot)$ 表示对人脸关键点的监督损失, $L_{pixel}(\cdot)$ 表示密集回归损失。这四种损失函数的同时引入能够帮助模型高效稳定的训练达到高检测精度。

而对于人脸识别模型 ArcFace 训练,损失函数在传统的归一化 Softmax 损失(Normalized Version of Softmax Loss)的基础上,引入加性角度间隔梯度惩罚项(Additive Angular Margin),损失函数如下:

$$L = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log \frac{e^{s(\cos(\theta_{y_i+m}))}}{e^{s(\cos(\theta_{y_i+m}))} + \sum_{j=1, j \neq y_i}^n e^{s \cos \theta_j}} \quad (2)$$

这种最大化加法角度间隔的损失函数,能够帮助模型尽可能最大化类间距离以及最小化类内距离,达到极高的识别准确率。本文训练的人脸识别模块在 LFW 数据集上达到 99.3% 的识别准确率。

3.4 持久层

持久层基于 Mybatis 框架编写,使得业务层代码以及资源层代码解耦合,有效地建立业务层 Java 的功能代码与数据库层 SQL 代码之间的映射,自动地将 Java 中的对象持久化到 SQL 数据库中,提升开发效率。而 Mybatis 与 Spring Boot 微服务共同开发时,可以通过建立数据库连接池,使每次对数据库的请求只需要调用连接池中的可用连接便可对数据库进行读写,避免每次读写都需要重建连接带来的额外开销以及过多数据库连接时数据库自身性能的降低。Mybatis 亦可以通过 SQL 语句预编译的方式,避免 SQL 注入攻击,保护数据库。

3.5 资源层

资源层主要使用 MySQL 以及 MongoDB 进行存储,MySQL 用于对用户信息,作业票管理信息进行存储。而 MongoDB 负责作业票存储以及作业票模版存储。作业票基于不同模版,将产生不同样式的作业票,不同作业票之间属性各不相同,这对于 MySQL 这类结构化关系型数据库是不友好的。故选择 MongoDB 此类 NoSQL 数据库进行存储管理,提升服务的可用性。而对于用户信息,作业票管理信息此类结构性强的数

据,使用 MySQL 进行存储,利用 MySQL 更高的检索性能提升服务可用性。

3.6 数据交互细节

3.6.1 层间数据交互

所有层间数据交互接口均设计为以 JSON 为数据交互格式的 Restful API,并使用 Fastjson 库完成对象与 JSON 数据之间的相互转换。Fastjson 是采用 Java 语言编写的用于解析 JSON 字符串的函数库,是目前 Java 语言中最快的 JSON 库^[14]。

3.6.2 作业票数据保存

为方便已完成作业票的后续存档,常需要将完整的作业票包括作业票文字内容和人工签名导出为 Word 格式并打印。针对这一需求,设计了作业票导出功能,该功能通过 Apache POI 实现^[15]。Apache POI 提供了应用程序编程接口,又称 POI API,该接口定义了 XWPF Document 类以及相关类接口,Java 程序通过调用这些接口,将作业票信息数据按照特定格式写入 XWPF Document 对象中,然后将 XWPF Document 对象以 Word 形式写入服务器响应流,最后输出响应流,即实现了作业票以 Word 形式在客户端导出的功能。

4 系统展示

4.1 用户信息展示

用户每次使用客户端时,需要进行人脸识别认证。每个用户均可以添加多幅人脸图片以及签名照片,提高识别准确率。如图 7 所示,图 7(a)为登录页面。图 7(b)为用户信息显示页面,显示完整信息。图 7(c)为每个用户预存人脸数据以及签名数据的界面。



图 7 作业票模板库

4.2 作业票模板展示

作业票模板库如图 8 所示,图 8(a)为所有作业票模板列表,用户可滑动选择对应模板,点击对应模板进入具体模板填写信息发起作业票。图 8(b)为“变电站

构支架安装工程(吊装及抬吊)施工作业 B 票”模板,模板将会自动填写部分信息。图 8(c)为指定签审人员,系统将自动生成签审流程以及对应人员,用户亦可根据实际情况自行修改。

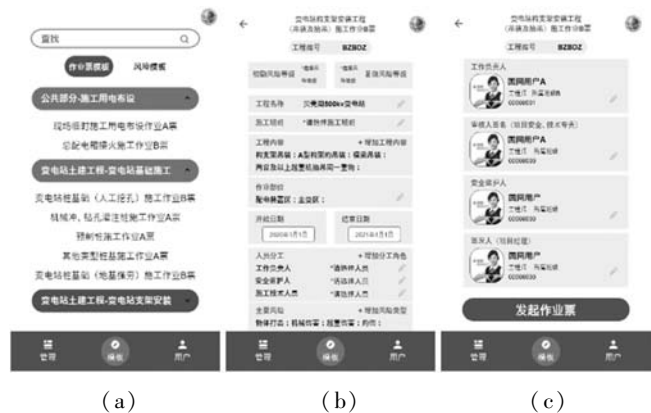


图 8 作业票模板库

4.3 作业票管理展示

作业票管理如图 9 所示,图 9(a)为当前所有负责的作业票列表,将会显示各个作业票的关键信息以及目前进行的阶段。图 9(b)为作业票在签审阶段中的签审情况展示。图 9(c)为作业票在施工阶段现场实施反馈展示以及施工人员展示,并有实时风险提示。

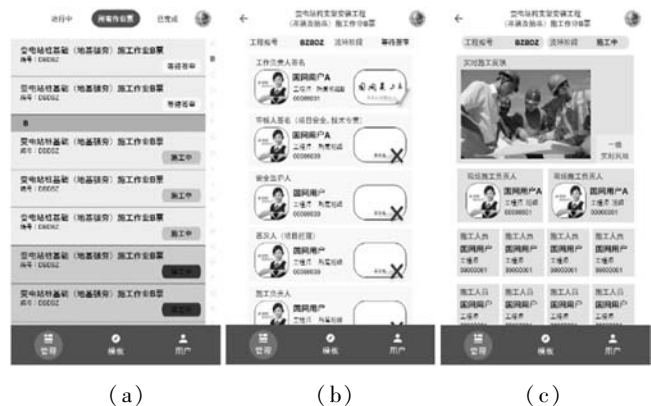


图 9 作业票模板库

5 结 语

本文设计的作业票管理系统基于跨平台移动终端以及分布式服务端技术,提供高效稳定的实时作业票服务;融合了基于人工智能的人脸识别以及签字验证技术,避免了代签、冒签现象的发生,实现了对工作流程的严格把控,同时提高了作业票的签审效率。系统对现场施工情况进行全过程的实时风险管控,保障了人员和设备安全。作业票的数字化也提高了后期管理人员进行分类统计、考核分析的效率和准确性。

目前该系统已在供电公司变电部投入运行,极大提高了作业票系统的运行效率。

参 考 文 献

[1] 王卫华. 工作票系统的研究[D]. 天津:天津大学,2014.

[2] 冯红坤,赵全胜,胡伟,等. 基于终端机的变电站工作票全过程管理[J]. 电工电气,2018(12):61-64.

[3] 陈裔生,蔡泽祥,尹亮,等. 变电检修管理一体化工作票研究[J]. 电力系统及其自动化学报,2005(6):67-70.

[4] 严耿. 基于 B/S 构架的图形化智能电气工作票系统的研究[D]. 天津:天津大学,2012.

[5] 曾厉,虞晨曦,刘海艳. 基于智能成票规则及算法的电气工作票系统[J]. 电工技术,2019(24):105-110.

[6] 王坤,吴松,张永奈,等. 一种施工现场作业票数字化管理应用的设计与实现[J]. 机电信息,2020(2):102-103.

[7] 罗国栋. 基于可信电子签名的热力工程项目管理系统[J]. 煤气与热力,2019,39(12):27-29,43.

[8] 潘冰. 面向资源的 RESTful Web 应用研究[J]. 微计算机应用,2010,31(7):38-43.

[9] 冯竹建,苏海智,陈荣. 电力供电大楼机房能耗监测与分析系统研究[J]. 能源与环境,2018,40(4):150-155,159.

[10] 李娜. 基于 Spring Cloud 微服务架构的应用[J]. 电子技术与软件工程,2019(12):142.

[11] Deng J K, Guo J, Ververas E, et al. RetinaFace: Single-shot multi-level face localisation in the wild[C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2020: 5202-5211.

[12] Deng J K, Guo J, Zafeiriou S. ArcFace: Additive angular margin loss for deep face recognition[EB]. arXiv:1801.07698,2018.

[13] Bromley J, Guyon I, Lecun Y, et al. Signature verification using a “Siamese” time delay neural network[C]//6th International Conference on Neural Information Processing Systems, 1993:737-744.

[14] 滕阳阳,胡栋. 基于 Netty 的 HTTP 协议栈的扩展设计与实现[J]. 无线通信技术,2017,26(3):38-42.

[15] 叶文胜. 利用 Java 技术动态生成 Word 文档之探索[J]. 黄冈职业技术学院学报,2019,21(6):123-125.

(上接第 21 页)

[15] Kumar A, Singh N, Anshumali I. Simulation and interactive approach based demonstration of pulse compression technique in atmospheric radar[J]. SN Applied Sciences, 2019, 1(12):1255-1267.

[16] 李林超,徐文龙,徐冰俏. 基于 LabVIEW 的心电监护仪自动检定系统的研发[J]. 计算机应用与软件,2018,35(8):128-132.

[17] Zhang J G, Zhao X L. Design of the chaotic signal generator based on LABVIEW[J]. Sensors & Transducers, 2014, 163(1):135-140.