



工程与应用

数字化技术在核电人员动态清点中的研究与应用

鲁磊, 廖毅, 胡中怡

(中广核智能科技(深圳)有限责任公司, 广东 深圳 518120)

摘要: 核电基地具有区域广、人员数量庞大、人员分布动态变化等特点, 实时了解基地内人员分布情况, 对核电基地的应急管理至关重要。为此, 提出了一套人员清点系统集成解决方案, 即集成包括车牌识别系统、人脸识别系统、信息发布系统等人员清点系统上的软、硬件, 实现了对核电基地周界、基地内区域周界、应急集合的人员通行或集合数据集中采集、管理和可视化展示的目标。基于实时人员分布数据, 管理层可在应急状态下快速制定精准的应对策略, 从而显著提升核电基地的应急响应能力。

关键词: 人员清点; 应急人员统计; 数字化技术; 核电基地

中图分类号: TM623.8

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2025202

Research and application of digital technology in dynamic headcount of nuclear power personnel

LU Lei, LIAO Yi, HU Zhongyi

CGNPC Intelligent Technology Co.,Ltd., Shenzhen 518120, China

Abstract: Nuclear power bases have the characteristics of wide areas, a large number of personnel, and dynamic changes in personnel distribution. Real time understanding of the distribution of personnel in the base is crucial for emergency management of the nuclear power base. To address this, an integrated personnel counting system solution was proposed. This solution involved the software and hardware from various personnel counting systems, including license plate recognition systems, facial recognition systems, and information release systems. The goal of achieving centralized collection, management, and visual display of personnel access or assembly data at the perimeter of the nuclear power base, the perimeter of internal areas, and emergency assembly points was accomplished. Based on real-time personnel distribution data, management could quickly formulate precise response strategies during emergencies, thereby significantly improving the emergency response capability of the nuclear power base.

Key words: personnel dynamic headcount, emergency personnel statistics, digital technology, nuclear power base



0 引言

核电基地一般划分为生活区、办公区、生产厂区等不同的管理区域。其管理具有以下3个特点：(1) 核电基地区域范围大，已建成或规划建成的核电基地占地面积普遍达数平方千米。(2) 基地内人员规模大，常驻人员（含工作人员及家属）和中、短期访问人员叠加，峰值时段可超万人。(3) 核电发电机组处于不同状态（正常发电状态和大修状态）或不同时间段（工作时间和非工作时间）时，核电基地内的人员空间分布呈现显著时变特征。在此背景下，实时获取核电基地人员整体及分布情况，成为提升核电应急响应效能的一个关键因素。尤其是在突发核应急事件时，管理层需要基于精准的人员分布态势感知，快速制定应急决策，以最大限度控制风险。

当前，传统的门禁一卡通系统和车牌识别系统主要用于实现人员及车辆通行权限的管理功能，其系统后台普遍缺乏对核电基地各区域内人员空间分布的实时监测能力。管理层迫切需要一种数字化的技术手段，达到对核电基地内人员分布情况实时了解的目的。为满足核电基地对人员清点的具体需求，本文设计了一套人员清点系统集成解决方案。该方案基于人员清点系统功能需求，集成人脸识别门禁系统、车牌识别系统、人脸识别计数系统、信息发布系统等智能化系统硬件，并在各种应用场景下通过标准化协议将上述硬件系统中产生的数据集中收集到系统后台，实现所有数据的统一化，极大方便了数据的处理及展示。目前，该系统现已成功上线，并应用于地处广东、辽宁的核电基地，已实现了核电基地内主要片区的人员动态分布情况的实时展示，以及应急集合演练中的人员自动清点功能。

随着智能化技术的不断发展，未来，人员清点系统将基于对应用场景数据的不断收集与使用

经验的持续累积，实现针对不同应用场景的智能预警功能，为提高应急反应能力增效增速。

1 人员清点系统集成解决方案设计

1.1 与门禁一卡通系统对比

门禁一卡通系统作为一种区域权限管理基础设施，其核心功能在于对人员进出区域的权限进行控制。随着智能化需求的出现，门禁一卡通系统逐步集成了人员清点等功能。尽管如此，现有门禁一卡通系统仍有一定局限性，比如不同品牌、不同年代的门禁系统之间难以实现数据互联，后台的数据查询功能仅能显示数量，无法做到对特定类型人员信息的分类呈现。与门禁一卡通系统相比，人员清点系统通过标准化通信，可实现对数据的统一收集、处理及加工，还可按照用户需求进行数据分类、可视化展示，且在数据达到一定阈值时弹出决策建议提醒。

1.2 人员清点系统功能设计

对于人行通道，需要进出核电基地的人员需要先进行通行权限申请，首次申请成功后，申请人在终端注册并生成电子身份证（二维码），再进行照片上传。在进行人员清点系统的硬件选型设计时，选择了一种人脸识别多功能一体设备。此种设备集人脸识别、身份证读卡、二维码扫码、员工卡读卡4种功能于一体，可满足不同情况下人员的身份识别需求。

对于车行通道，车主在成功申请到车辆通行权限后，所申请的车辆即刻生成车辆场所二维码。车牌与司机信息在申请通行权限时已经绑定，默认为车在通过道闸时，司机也一并通过。车上同行人员可扫描车辆场所码进行认证，或直接由司机在其人员清点系统手机端App添加同行人员信息，实现司乘人员的身份认证（如果乘客没有通行权限，扫车辆场所码或司机添加该人员信息将会提示失败）。

在核电基地应急集合点，同样部署一定数量

的人脸识别多功能一体设备。集合人员可通过人脸识别、刷身份证、扫二维码或刷员工卡任意一种方式进行登记。系统设计基于身份证号实行关键字段设定，应急集合人员重复识别后并不会增加集合人员数量。通过人员清点系统后台的数据整合，实现对集合点内人员动态分布情况的信息展示。

1.3 人员清点系统硬件网络架构

基于上述思路，人员清点系统硬件网络架构如图1所示。该架构采用全IP技术，所有的硬件设备均通过IP方式实现互联，并通过网络访问应用服务器，实现系统集成解决方案中的各项功能。

人员清点系统集成解决方案分为周界和应急集合2种区域场景模式。周界区域场景模式通过车行通道的车牌识别技术和人行通道的人脸识别

技术，实现日常状态下人员的出入清点功能；应急集合区域采用人脸识别技术，实现应急状态下人员的应急集合清点功能。

在区域出、入通道位置，人行通道在闸机的进、出口位置安装人脸识别多功能一体设备，使得人员出、入该区域均需通过人脸识别一体机认证后方可开闸通行，通行权限由申请人提前在通行权限申请系统中进行申请并获取授权；车行通道安装车牌识别摄像机和车道显示屏，通过人员清点系统与车牌识别硬件系统的联动，及车上乘客人员提前对车辆场所码进行扫码登记的方式，在车辆进入车牌识别区时，该车道闸机旁边的大屏上会同步显示司乘人员姓名、人数、所属公司及通行权限等相关信息。如果有乘客没有通行权限，扫车辆场所码或司机添加该人员信息将会显示失败。保安可通过比对车上人员的证件和大屏上显示的信

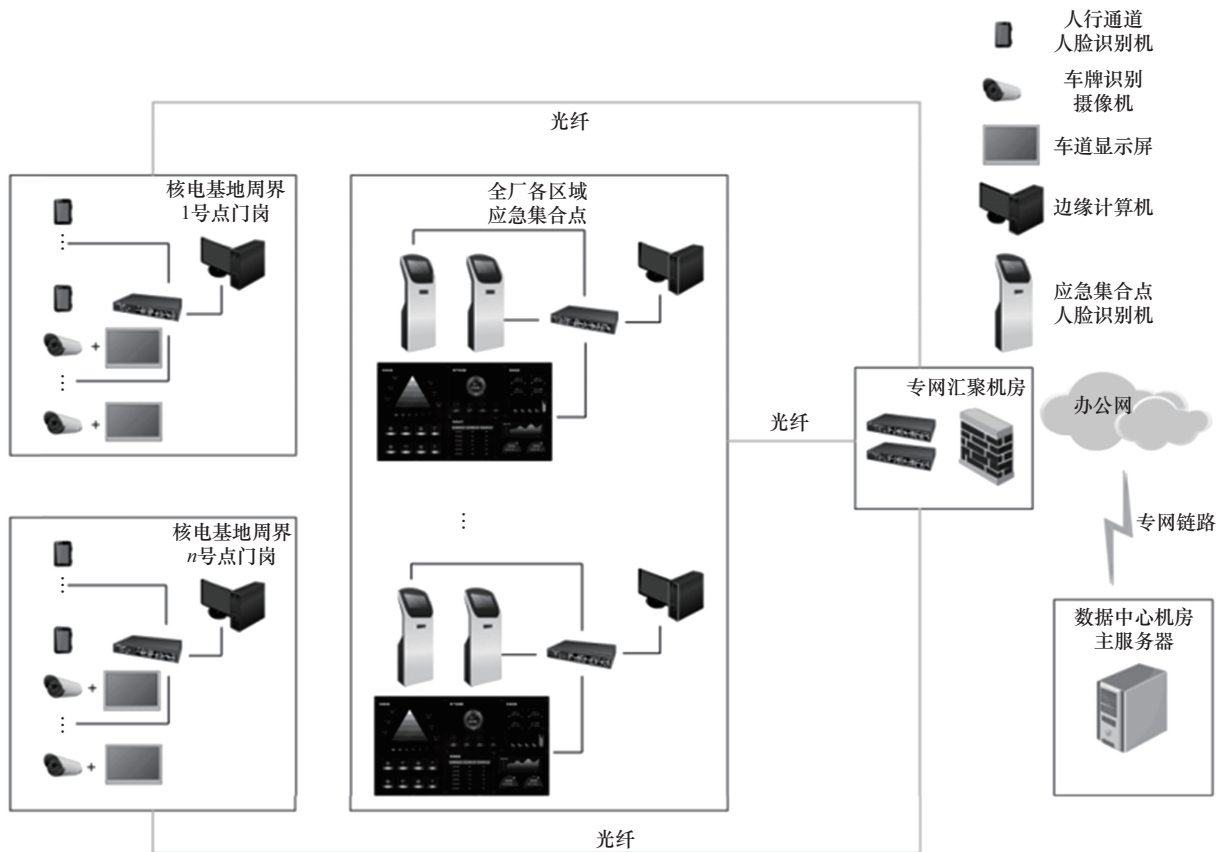


图1 人员清点系统硬件网络架构



息是否一致来判断通行人员权限的有效性。

为了保证车行、人行通过效率，同时也为了减轻后台服务器的运行压力，确保人员清点系统的可靠性和稳定性，在人员清点系统硬件网络架构设计中引入了边缘计算技术。在每个出入口区域部署一台边缘计算机，实现该区域人行和车行通道的权限下发、识别认证、控制、运维管理等功能。边缘计算机、人脸识别多功能一体设备、车牌识别摄像机、车道显示屏等设备均通过接入层网络交换机上行汇接到专网汇聚机房的汇聚交换机中。在每个应急集合点部署安装若干台人脸识别多功能一体设备，用于应急集合人员的身份信息采集。同时，在每个应急集合点安装一套信息发布系统，包含信息发布终端盒及显示大屏。信息发布系统平时用于播放核应急相关的宣传片、应急集合操作指南等内容。当核应急状态发布时，信息发布系统收到应急开合信号，并将指令下发到信息发布系统终端盒，终端盒执行既定程序，自动切换到人员清点可视化显示页面，开始记录从人脸识别多功能一体设备上传的人员集合信息。同样，每个应急集合点均配置一台边缘计算机，实现人员的信息识别、系统控制、运维管理等功能。应急集合点中的边缘计算机、人脸识别多功能一体设备均通过接入层网络交换机上行汇接到专网汇聚机房的汇聚交换机中，最终通过防火墙访问业务网中的应用服务。

1.4 人员清点系统软件架构

人员清点系统是一套针对核电基地人员清点需求，结合智能化硬件设备进行对接定制开发的软件平台。由于核电基地分布于全国各地，此款软件平台是在收集各核电基地的需求后，对各核电基地的多样性需求进行梳理及优化，最终分为通用型需求和个性化需求两部分。同时，做了详细的需求分析及系统架构设计：(1) 系统主体设计实现群厂通用，标准版支持多电厂、多公司需求；(2) 系统接入设计以国家标准或行业标准为基础，实现标准统

一，支持系统终端软、硬件适配的接入多样化需求；(3) 可实现后台统一集中管理与数据展示、前端便捷管理与数据分布式展示的需求。

人员动态清点系统平台架构如图2所示，其中，Hadoop为分布式系统基础架构，MDM为移动设备管理；HANA为企业级内存计算平台，ORC为对象关系映射；RPA为一种基于规则的非侵入性自动化技术；CUD框架为计算统一设备架构；PSC流程为数据序列化格式流程；REDIS为远程字典服务器；OSS为对象存储服务；ELK为搜索大神、数据搬运工、可视化狂魔集合体。

1.5 人员清点系统数据接口

由于核电基地的人员一直处于动态变化中，为了更精准地定位人员所处的大致区域，人员清点系统充分利用大数据的算力分析能力，实现与核电基地多个平台系统的对接，例如，采集消费刷卡数据、计算机登录的IP地址段、基地AI视频监控等多种系统数据并进行分析，基于人员在核电基地最新一次的区域数据获取，实现对此人员的模糊定位功能。人员动态清点系统数据接口系统架构如图3所示。

具体的系统对接信息如下。

- 授权申请系统：接收人员相关信息，人员授权更新后，人员清点系统同步更新。
- 短信管理平台：传送人员信息、接收下发应急信息。
- 一卡通系统：向一卡通系统提供人员基础数据（人脸），获取一卡通消费数据，刷卡（或刷脸）后数据作为人员行为记录（轨迹）和位置纠偏参考。
- 基地AI视频监控：通过基地AI视频监控获取的人脸信息，作为人员行为记录，可用于人员活动记录（轨迹）。
- 人资数据：获取离职数据，在后台将其设置为禁用状态，并标记为“人资系统离职人员”。

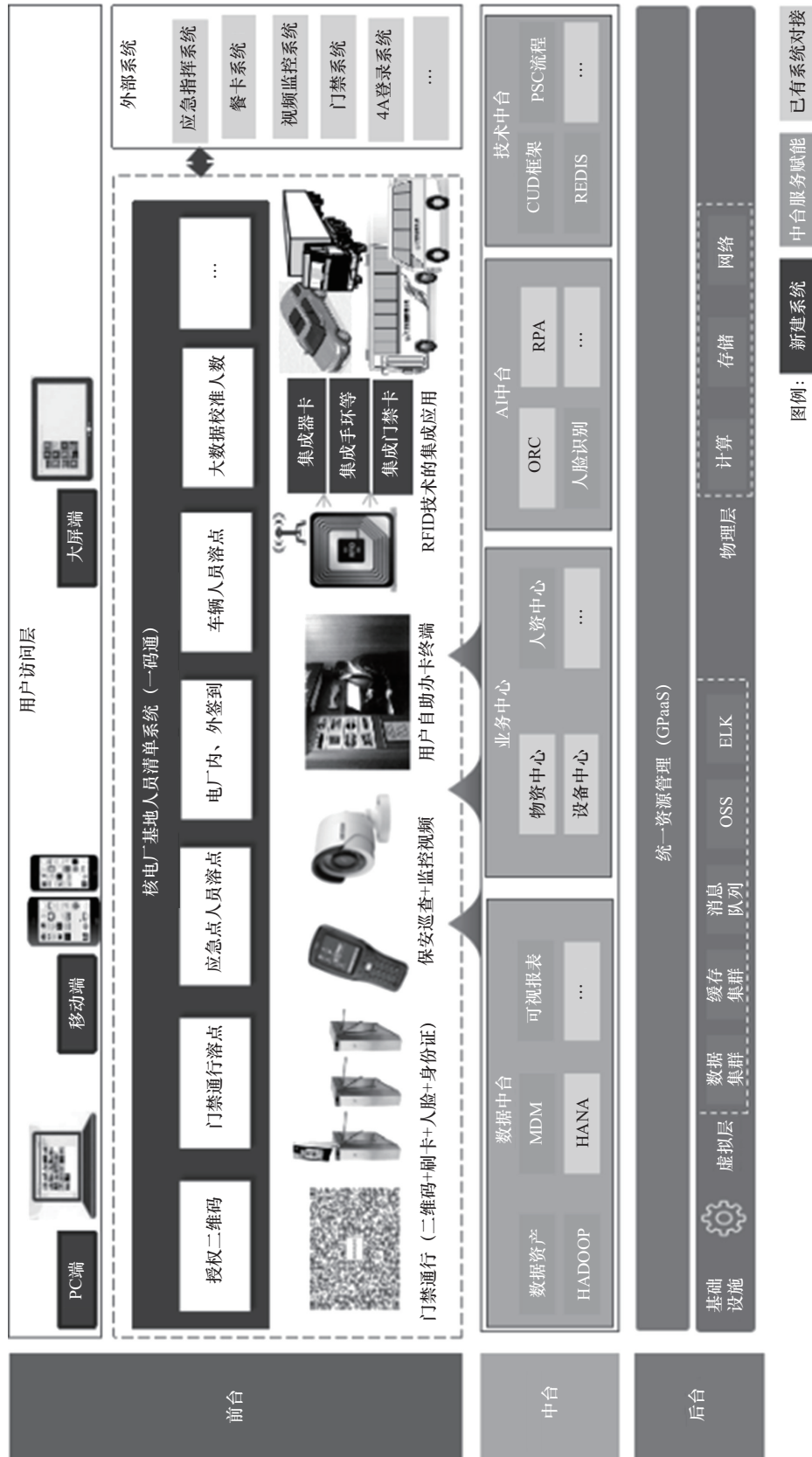


图2 人员动态清点系统平台架构

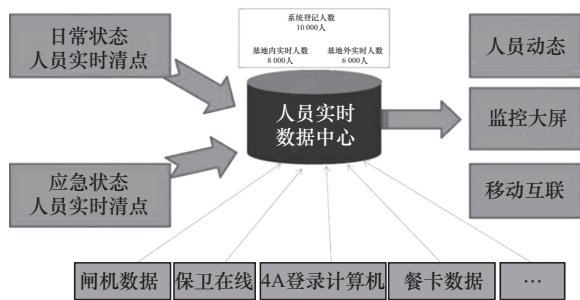


图3 人员动态清点系统数据接口系统架构图

1.6 信息安全保障

人员清点系统保存有大量的人员隐私信息。为防止信息泄露，在进行系统设计方案评审时，充分考虑了相关的信息安全保障措施。

首先，该系统的所有数据仅限于核电基地内部网络传输，人脸数据通过特定标准的特征码进行传输，以保证人员信息的加密。需要接入外网时，由集团统一的外网出入口进行相关数据的传输。其余的信息安全保障措施还包括：(1) USB扩展口收纳于闸机内部，同时为USB端口配置端口锁，以避免被非法植入恶意程序攻击。(2) 相关设备入网前首先进行安全扫描。(3) 定期对相关应用访问地址进行渗透测试，并针对测试发现的漏洞进行修复。(4) 设备开启的端口服务加固项目，如减少非必要端口开放、对设备进行漏洞扫描，以验证其端口是否存在未授权利用的可能性等。

2 人员清点系统的应用

2.1 人员清点系统应用软件的主要功能模块

人员清点系统应用软件的主要作用是对接通行权限申请系统、短信平台系统及其他大数据分析辅助系统，包括对接通行权限申请系统数据库中的人、车的基础数据，为人员清点系统提供相应的控制、服务、数据对接及下发等功能。

人员清点系统应用软件的主要功能模块包括个人电子身份证模块、车辆管理模块、应急集合清点模块。

2.1.1 个人电子身份证模块

当在通行权限申请系统中申请基地人员通行权

限并审批通过后，与之对接的人员清点系统会自动生成个人电子身份证，并通过短信将操作步骤及链接下发至权限申请时登记的待授权人手机上，待授权人按照操作步骤进行授权激活。首次在人员清点系统中注册时，需要先激活个人电子身份证，并应通过手机端应用程序按要求上传个人照片。

人员清点系统上的个人电子身份证主要有以下功能：(1) 实现手动进出基地打卡。(2) 通行记录上传至服务器，记录人员已经进、出基地或者授权区域。(3) 支持乘车绑定出入，实现乘车通行后状态跟随变化记录。(4) 动态接收通行权限申请系统个人授权信息更新、显示。(5) 向应急系统传送人员信息并接收应急下发信息。

手机端个人电子身份证模块的界面如图4所示。除了包含个人电子身份证必要的证件号码、二维码外，还显示有电子身份证注册的所在基地、权限有效期、所属组织以及当天进、出基地的时间等，方便使用人及保安人员进行查验。



图4 手机端个人电子身份证模块的界面

2.1.2 车辆管理模块

当在通行权限申请系统中申请基地车辆通行权限并审批通过后，人员清点系统手机端 App 会自动生成车辆场所码，司机信息、车牌信息以及车辆场所码默认绑定。

车辆管理模块主要有以下主要功能：(1) 车牌绑定司机（支持车主手动修改车辆使用人）。当驾驶员驾车进入基地时，驾驶员向保安出示有效的电子身份证，车辆权限获得车牌识别系统认证通过后即可通行。(2) 当车上有其他乘客时，乘客扫本车场所码或直接由司机在其人员清点系统手机端 App 添加同行人员信息，实现司乘人员的身份登记。当车辆进入车牌识别区时，该车道闸机旁边的大屏上会同步显示司乘人员姓名、人数、所属公司及通行权限等相关信息，保安通过比对车上人员的证件和大屏上显示的信息来判断通行人员的权限有效性。对于未经授权的车辆或人员，车行通道大屏将显示“无权限，禁止进入”，保安将采用人工排查方式对无授权车辆或人员予以劝返。

车辆管理模块显示界面如图 5 所示。除了包含车牌号、车辆码（打开即显示）外，还显示车主（授权申请人）、当前使用人（当前司机）、车辆授权状态、授权及有效期、常坐乘车人等，方便在进出相关区域前由司机进行提前设置。



图 5 车辆管理模块显示界面

2.1.3 应急集合清点模块

应急集合清点模块由应急主管部门通过人员清点系统后台集中管理，统一配置生成应急集合点、疏散点、乘车点等分类场所码。按照核应急的相关要求，在发生核应急状态时，附近人员根据核应急要求就近在应急集合点处集合并清点。在需要人员从核电基地进行疏散时，核电基地管理部门会根据各区域人员清点情况安排车辆进行转运疏散。人员在乘车点上车后，即可根据程序要求，通过扫码的方式更新自己的人员清点系统状态，由原先的应急集合人员更新为已撤离人员。在核应急状态下，应急指挥中心利用此项功能可及时了解核电基地内人员的分布情况。

应急集合清点主要有人员常态化清点场景、防台风应急清点场景、核应急集合清点场景、基地人员撤离场景这 4 个主要场景。应急情况下基地人员集合登记方式有：(1) 扫码登记。扫描应急集合点张贴的场所码进行集合登记。(2) 人脸识别。利用人脸识别多功能一体机的人脸识别模块进行集合清点登记。(3) 刷卡登记。利用人脸识别多功能一体设备的读卡模块读取员工的刷卡信息，进行集合清点登记。(4) 身份证信息登记。利用人脸识别多功能一体设备的身份证读取模块，进行集合清点登记。(5) 身份证自助录入。利用人脸识别多功能一体设备的触摸屏自助录入身份证号，进行集合清点登记。

应急情况下基地集合人员撤离场景的清点方式有：(1) 扫码登记。系统后台通过车辆场所码模块，识别出撤离登记。(2) App 登记：通过 App 自助登记撤离状态。

2.2 人员清点系统的应用

目前，人员清点系统解决方案已完成初版部署，成功上线并应用于地处广东、辽宁的核电基地，基本实现了核电基地内主要片区的人员动态分布情况的实时展示，以及应急集合演练的人员自动清点的功能。



某核电基地人员动态清点系统平台数据展示如图6所示。由图6可知,该人员动态清点系统平台可实时呈现出基地内实时人数、基地内各单位的人数占比、基地内各单位车辆数占比、需管控的各区域实时人数、24小时基地人车动态图、人员清点情况等信息,以及人、车授权管理、应急管理、设备管理等多个管理子功能模块。通过图中展示,实时查询当前进出基地内实时人员11 523人、车辆4 617辆的数据信息,基地内3个区域内实时人数分别为13人、288人和442人。当启动应急事件时,人员实时清点平台将联动短信平台,自动给正处于基地内的人员发送短信告知下一步的应急行动。

2.3 未来扩展应用

随着智能化系统技术的不断发展,人员清点系统基于应用场景数据的不断收集及使用经验的积累,在未来将不断优化升级,为不同应用场景提供智能提醒的功能,为应急反应能力增效增速。例如,当出现台风橙色预警时,值班管理人员向人员清点系统下达相关状态指令后,系统按照既定程序自动对接短信平台,向

所有基地人员发送防台风提醒内容。当核应急状态为厂房应急时,应急值班人员向人员清点系统下达相关状态指令后,系统按照既定程序自动对接短信平台,向当前滞留该区域的人员发送核应急提醒内容。当基地人员准备撤离时,人员清点系统可根据各应急集合点目前的人员分布情况及基地内现有机动车分布情况,自动计算出最优的车辆安排布置建议,将数字化应用上升到一个新的高度。

3 结束语

本文提出了一种人员清点系统解决方案,即集成人员清点系统相关的软、硬件,包括车牌识别系统、人脸识别系统、信息发布系统,打通了各系统的数据链条,实现了对核电基地出入通道、基地内各区域出入通道、应急集合点的人员通行或集合数据统一管理、统一展示的目标。

人员清点系统通过整体数据呈现,让管理层实时了解到核电基地内的总人数及各电站、各管理区域的人员分布情况。当出现不同应急场景



图6 某核电基地人员动态清点系统平台数据展示

时, 相关管理部门能基于核电基地内的实时情况迅速做出应对安排及部署, 大大提升了核电基地的应急反应能力。

未来, 随着智能化技术的不断发展及人员清点系统在实际应用过程中的不断改进, 人员清点系统除了数据呈现更加精准、操作更加便利外, 还可能实现为不同应用场景提供智能提醒的功能, 甚至为管理层提供及时精准的决策建议, 将数字化的应用成果上升到一个新的高度。

参考文献:

- [1] 华能核能技术研究院有限公司. 核事故下的人员清点撤离辅助系统和方法: CN 202211026186.9[P].2022-12-09.
Huaneng Nuclear Energy Technology Research Institute Co., Ltd. Personnel counting and evacuation assistance system and method in the event of a nuclear accident: CN 202211026186.9[P].2022-12-09.
- [2] 无锡物讯科技有限公司. 一种安全应急人员清点系统: CN 202020223640.X[P].2020-09-08.
Wuxi Wuxun Technology Co., Ltd. A security emergency personnel counting system: CN 202020223640.X[P].2020-09-08.
- [3] 汪小艺, 王珺, 魏志强, 等. 基于人脸识别的图书馆智能门禁系统[J]. 电子产品世界, 2021, 28(4): 65-67, 80.
WANG X Y, WANG J, WEI Z Q, et al. Intelligent access control system of library based on face recognition[J]. Electronic Engineering & Product World, 2021, 28(4): 65-67, 80.
- [4] 陈存强, 姚晋丽. 基于人脸识别技术的门禁系统设计与实现[J]. 内燃机与配件, 2018(12): 232-233.
CHEN C Q, YAO J L. Design and implementation of access control system based on face recognition technology[J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2018(12): 232-233.
- [5] 胡爱明, 周孝宽. 车牌图像的快速匹配识别方法[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(7): 90-91, 110.
HU A M, ZHOU X K. A fast matching method of car plate recognition[J]. Computer Engineering and Applications, 2003, 39(7): 90-91, 110.
- [6] 范立南, 韩晓微, 张广渊. 图像处理与模式识别[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 15-22.
FAN L N, HAN X W, ZHANG G Y. Image processing and pattern recognition[M]. Beijing: Science Press, 2007: 15-22.
- [7] SANDERSON C, PALIWAL K K. Information fusion and person verification using speech & face information[J]. Urological Science, 2002, 21(4):919-926.
- [8] 杜海浪. 智能建筑的人员紧急集合清点系统设计[J]. 现代建筑电气, 2012, 3(8): 75-78.
DU H L. Design of emergency headcount gather check system in intelligent building[J]. Modern Architecture Electric, 2012, 3(8): 75-78.
- [9] 岳长洪. 浅谈基于DSP硬件识别的车牌识别系统[J]. 北方交通, 2008(6): 187-189.
YUE C H. Simple talking about system for license plate distinguishing, based on DSP hardware distinguishing[J]. Northern Communications, 2008(6): 187-189.
- [10] 兰昊晖. 车牌识别系统应用场景识别率的研究[J]. 信息通信, 2015, 28(2): 12-13.
LAN H H. Research on scene recognition rate of license plate recognition system[J]. Information & Communications, 2015, 28(2): 12-13.
- [11] 顾丽韵, 陈勤平, 杨荭. 智慧社区信息发布与交互系统的研究与设计[C]//第十届国际绿色建筑与建筑节能大会暨新技术与产品博览会论文集: S02绿色建筑智能化与数字技术. 北京: 中国城市科学研究会, 2014:59-69.
GU L Y, CHEN Q P, YANG L. Research and design of smart community information release and interaction system[C]//Proceedings of the 10th International Green Building and Building Energy Efficiency Conference and New Technology and Product Expo: S02 Green Building Intelligence and Digital Technology. Beijing: China Urban Science Research Association, 2014: 59-69.
- [12] 孙亚华, 秦桄, 李彬. 泰山第三核电厂核应急电子清点系统[J]. 辐射防护通讯, 2009, 29(6): 30-34.
SUN Y H, QIN C, LI B. A new technology of nuclear emergency electronic accountability system[J]. Radiation Protection Bulletin, 2009, 29(6): 30-34.
- [13] 大亚湾核电运营管理有限责任公司, 中国广核集团有限公司, 中国广核电力股份有限公司. 一种核事故中人员的应急清点方法及系统: CN201410856426.7[P]. 2015-06-10.
Daya Bay Nuclear Power Operation And Management Co., Ltd., China General Nuclear Power Group Co., Ltd., China General Nuclear Power Co., Ltd. A method and system for emergency personnel counting in nuclear accidents: CN201410856426.7[P]. 2015-06-10.
- [14] 郑伟成, 李学伟, 刘宏哲, 等. 基于级联卷积神经网络的人脸



关键点检测算法[C]//中国计算机用户协会网络应用分会2019年第二十三届网络新技术与应用年会论文集.合肥:中国计算机用户协会网络应用分会,2019:220-224.

ZHENG W C, LI X W, LIU H Z, et al. Facial keypoint detection algorithm based on cascaded convolutional neural network [C]// Proceedings of the 23rd Annual Conference on New Network Technologies and Applications of the Network Application Branch of the China Computer Users Association in 2019. Hefei: Network Application Branch of China Computer Users Association, 2019:220-224.

- [15] 曾宪贵, 黎绍发, 左文明. 特征区域模板匹配法实现汽车牌照的精确识别[J]. 计算机工程与设计, 2003, 24(9): 26-27.

ZENG X G, LI S F, ZUO W M. Application of characteristic area matching method in realizing accurately recognition of motor vehicle license plate[J]. Computer Engineering and Design, 2003, 24(9): 26-27.

- [16] 胡逸龙, 金立左. 基于深度学习方法的中文车牌识别算法[J]. 工业控制计算机, 2021, 34(5): 63-65.

HU Y L, JIN L Z. Chinese license plate recognition algorithm based on deep learning method[J]. Industrial Control Computer, 2021, 34(5): 63-65.

[作者简介]



鲁磊(1983-),男,中广核智能科技(深圳)有限责任公司工程师,主要研究方向为弱电智能化及通信。



廖毅(1987-),男,中广核智能科技(深圳)有限责任公司高级工程师,主要研究方向为PKI技术及网络空间安全。



胡中怡(1984-),男,中广核智能科技(深圳)有限责任公司工程师,主要研究方向为弱电智能化及通信。