2018 电力行业信息化年会论文集

会议主题：数字中国　能源互联

■ 中国电机工程学会电力信息化专业委员会　主编

中国工信出版集团　人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

2018 电力行业信息化年会论文集　中国电机工程学会电力信息化专业委员会　主编　人民邮电出版社

ISBN 978-7-115-49260-9
定价：180.00元

分类建议：电力信息化
人民邮电出版社网址：www.ptpress.com.cn

2018电力行业信息化年会论文集

会议主题：数字中国　能源互联

■ 中国电机工程学会电力信息化专业委员会　主编

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目（CIP）数据

2018电力行业信息化年会论文集 / 中国电机工程学会电力信息化专业委员会主编. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2018.9
ISBN 978-7-115-49260-9

Ⅰ. ①2… Ⅱ. ①中… Ⅲ. ①电力工业－企业信息化－文集 Ⅳ. ①F407.61-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第208512号

内 容 提 要

本论文集收录了中国电机工程学会电力信息化专业委员会2018电力行业信息化年会论文114篇，内容涵盖全业务电力物联网、智能制造、电力大数据、工业互联网、信息系统安全运维等诸多领域，全面反映电力行业信息化领域的热点、最新技术、研究进展和应用前景等，充分体现了我国电力产业链各方在这些领域的积极创新和深入实践。

本论文集可供电力行业信息化技术领域的科技工作者、工程技术人员和高等院校相关专业的师生等参考。

◆ 主　　编　中国电机工程学会电力信息化专业委员会
责任编辑　李彩珊

◆ 人民邮电出版社出版发行　　北京市丰台区成寿寺路11号
邮编　100164　　电子邮件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
北京时捷印刷有限公司印刷

◆ 开本：800×1230　1/16
印张：27.25　　2018年9月第1版
字数：858千字　　2018年9月北京第1次印刷

定价：180.00元

读者服务热线：（010）81055488　印装质量热线：（010）81055316

反盗版热线：（010）81055315

广告经营许可证：京东工商广字第8032号

人民邮电出版社出版

2018 电力行业信息化年会论文集

专家委员会

主 任 委 员： 李建成

副主任委员： 王继业　刘建明　胡红升　王志英　吕庭彦
杨富春　王聪生　吴张建　沈　亮

委　　员：（按姓氏笔画排序）

丁　涛　王　建　王少杰　王东方　王健斌
方　翎　曲朝阳　吕　韬　朱晓东　朱朝阳
齐　峰　江　华　许凌峰　孙从海　孙丕石
孙靖初　杜永胜　李建华　李美平　李继红
杨建军　吴文炤　邹来龙　张　利　张大国
林　峰　林为民　罗念华　金和平　庞松涛
郑贵德　房　方　赵　威　赵永柱　赵现军
赵建保　胡　曙　贺玉彬　钱天林　高昆仑
郭　浩　曹军威　崔恒志　曾　楠　董　杰

编辑委员会

欧阳述嘉　王思宁　胡　威　靳　莉　古　巍
龚晓莉　刘世刚　王晓丹　张　何　徐　皎
马　娜　刘　洁　惠怡然　王　旭　时君柳
杨　莹　李　博　张　旭

人民邮电出版社出版

人民邮电出版社出版

目 录

2G、4G、Wi-Fi、McWill 融合研究与运用……林振起，伍泽军，刘　杰（1）

CPU 仿真中 printf 方法的实现……沈志刚，燕雪松，赵　权（5）

LTE 230 MHz 电力无线专网的手持信号测试仪设计……杜思伟，杨润安，王宇鸣（9）

TD-LTE 电力无线专网网络优化方法与关键技术……刘智威，纽　彬，汪玉成，吴　昊（14）

VxLAN 技术在电力企业数据中心网络中的应用研究……杨　丽，贾国栋（19）

变电站人工智能避障巡检设备系统设计……强春雨（22）

电力大数据的未来发展趋势……汪俊洋，李　明（28）

电力大数据解决方案……黄　超（31）

电力二次设备高性能主控芯片的设计与应用……张　济，周芝梅，冯　曦，胡　毅，唐晓柯（36）

电力行业身份认证与数据保护融合技术架构体系……王　栋，陈智雨，贺金红，闫珺路（39）

电力企业供应链统一服务平台应用建设探析……刘佳宁，凌传干，王　磊（44）

电力企业基于物联网技术的智慧园区建设……陈　强，倪　隽（50）

电力通信网过渡升级 IPv6 技术探讨……杨　丽，王炫中，刘　锋（60）

电力无线专网业务管理与运维检修体系研究……吴　昊，孙方楠，刘智威，袁　瑜，斯庭勇（64）

电力系统可视化运维技术设想……陈智雨，巩少岩，谢　磊，葛冰玉，史　睿，闫珺路（69）

电力线载波与无线融合通信链路感知组网算法……王立城，霍　超，刘雨峰，侯莹莹，苑佳楠（76）

电力项目建设在 ERP 系统中的业务集成……崔乃栋（80）

电网工业控制系统安全防护……葛冰玉，陈智雨，谢　磊，李丹丹，黄文雯（85）

二维码标签在通信机房的应用……刘　骊，尹　恒，张　艳（89）

分布式对象存储/文件系统的数据同步……张　亮（92）

人民邮电出版社出版

分布式光伏发电领域工业互联网应用新模型的探讨…… 那峙雄，王晓岚（96）
分布式微电网区块链技术系统研究…… 姜　波，徐　彧，贺金红，颜　拥（99）
工业互联网体系下车间单机设备运行模型…… 许　冰，刘艳芳（103）
工业生产公共广播系统架构优化…… 詹建礼，陈　兵，李清华（107）
故障注入攻击 XYZ 平台扫描位置可视化交互集成方法研究…… 齐振彬，王　喆，甘　杰（111）
国标和核电中综合布线系统简单对比及安全保护…… 王印尧，伍泽军，刘　杰（116）
国网公司高价值科技资源共享探讨…… 赵　晶，王进生（121）
核电企业大数据技术架构设计与应用实践…… 杨　强（124）
核电通信企业标准与国际通信标准的差异化分析…… 喻施施，伍泽军，张家典（130）
核电无线通信系统集中告警平台的建设与应用…… 郑湘宁，任明慧，张成阳（136）
核电站综合布线标准化研究…… 叶萌萌，伍泽军，邓文杰，刘　杰（140）
基于“PDA+RFID”的电力智能巡检系统 …… 秦宁丽（142）
基于 BIM 的电网基建工程管控系统 …… 时美晨，游龙勇（146）
基于 CNN 与 ASP 的核电变压器双向故障诊断模型及可视化分析 …… 侯　权，谢文杰（150）
基于 GIS 平台的光缆在线智能监测及故障定位系统 …… 雷焕宇，陶国庆（156）
基于 GIS 平台的无人机输变电线路智能巡检的航拍规划仿真研究…… 梁　翀，郭　庆（159）
基于 Revit 平台针对变电工程的 BIM 族库管理系统分析搭建…… 周昊天（163）
基于 RFID 的资产管理系统设计与实现……高文俊，夏　信，王守志，李　进，李树昆，庞振江（167）
基于 RSA 算法的分布式密钥分割数字签名实现方案及应用 …… 张　蕾，吴　立，陈永军，廖会敏（172）
基于 RTDS 数模仿真平台的智能变电站继电保护设备系统测试…… 邱荣福，朱子坤（176）
基于本地费控电表的线上交费业务研究与应用…… 李靖波，张　慧（180）
基于电子档案和 C-W 算法的电缆运维新模式 …… 刘　波，金武杰（183）
基于定位技术的信息管理系统的研发…… 黄向东，权重民（187）
基于改进支持向量机的电费回收风险预警……仲春林，郑　飞，邵　俊，李昆明，方　超（192）
基于古诺模型的能源互联网电能产品定价与交易模型研究…… 陈绍真，王俊生，伍　燕（197）
基于机器学习及大数据的负荷预测研究与应用…… 郑贵德（205）
基于金融 IC 卡的分层确定性钱包设计……
…… 夏　天，赵东艳，张海峰，唐晓柯，刘　亮，甘　杰，崔炳荣（211）
基于可信身份认证的电网企业信息安全防控体系……范叶平，李　玉，马　冬，杨德胜，郭瑞祥（213）

人民邮电出版社出版

基于冷热冲击实验的电力芯片 TSV 封装可靠性研究……
……乔彦彬，邵　瑾，李建强，陈燕宁，张海峰，赵东艳（218）
基于区块链的共享充电桩平台方案设计 ……涂因子，夏冰冰，杨　震，甘　杰，王　尧（221）
基于区块链共识机制的能源互联网交易 ……周国亮，吕凛杰，李　刚（227）
基于区块链与云计算融合机制的车联网安全体系……梁伟强，王静智，黄兆桐（231）
基于人工智能的大雾识别模型构建与应用 ……陶　鹏，苗开超，周建平，刘承晓，姚叶青，周林义（235）
基于人脸识别技术的洞室门禁管理系统 ……马　娜，靳　莉，唐新忠，李　琳（241）
基于数据分析的通信光缆故障研究及应用 ……梁书琴，张　艳（245）
基于数据挖掘的分布式光伏电站投建人细分模型研究……杨　珂（249）
基于数字化业务流程的国网党建信息化综合管理系统……黄　琪，赵　鑫，蔡启煌（253）
基于微服务架构的应用软件项目管理平台的探讨……郑衔锋，闪　烁（258）
基于物联网技术的电缆生产质量数据采集研究……郝庆利，李映炼（261）
基于知识图谱的核电设备知识平台建设 ……杨　强（265）
集中部署 ERP 系统与外围系统集成接口优化研究 ……崔乃栋，潘　磊，冯志鹏，林　楠（270）
开源软件安全检测关键技术 ……靳　鑫，杜　林（273）
可穿戴设备在电力企业信息安全中的应用……卢科帆（281）
可扩展鉴权协议在智能卡中的应用与研究……王　岩，崔炳荣，甘　杰（284）
量子通信与抗量子密码研究 ……谢　磊，陈智雨，葛冰玉，黄文雯，李丹丹（288）
面向电力应用的卫星大数据统一管理平台建设……高秉强，李向阳，袁　野，丘志强（292）
面向智能电网的物联网应用研究 ……黄文雯，谢　磊，李丹丹，葛冰玉（295）
配网智能运维管控系统研究与实现 ……魏　鑫，唐新忠，李　琳，刘　冲（299）
区块链技术与网络安全……张　桐（303）
区块链技术在电力交易中的应用及挑战 ……韩庆芝，徐　彧，颜　拥，王俊生，吕梓童（306）
区块链技术在电商系统中的应用 ……郑　斌（311）
区块链技术在能源互联网与电子商务中的应用……朱兴雄，韩庆芝，李宏伟（313）
人工神经网络在电力系统短期负荷预测中的应用……钟　超，刘伟策（317）
人脸识别技术在国网电商的应用 ……樊　涛，徐　彧，石　欣，李宏伟（320）
三维数字化设计在丹河火力发电厂基建期的应用……王建鹏，吴晓辉，孟颖超，郭洪飞，陈小红（325）
随机数发生器中熵源的实现方法 ……郑礼坤，梁　倩（330）

人民邮电出版社出版

通信用分布式电源系统（DPS）应用研究 …… 邵正忠（334）
网络安全态势感知在共享充电桩系统中的应用 …… 洪福斌，黄兆桐，张　恺（338）
无线通信技术在智能电网建设中的应用 …… 许　剑（342）
芯片封装体可靠性及失效模式研究 …… 杨金虎，乔彦彬，李建强（345）
虚拟现实技术在监造云平台中应用的研究 …… 叶亚军，杜远征（349）
蓄电池智能化管理新技术系统的设计应用 …… 郭彦军，徐　铎，贾战峰（353）
一种 MCU 芯片在单相智能电表中的应用方法 …… 张彦欣，黎金旺，杨立新，白志华（357）
一种测量集成 VGA 的方法 …… 张志伟，唐晓柯，李　铮，罗　丹（362）
一种基于 PCIe 接口的高速安全芯片设计 ……
…… 金　锐，胡晓波，陈奎林，于艳艳，李　娜，臧仕平，孙静莹（365）
一种基于分布式结构的用电信息采集方法 …… 王　祥，谢晶晶，林大朋，毛珊珊，武占侠，洪海敏（369）
一种基于企业微信号的轻量化企业级移动应用架构与实现 …… 胡霖远，姚全兵，闪　烁，张　松（372）
一种基于数字证书的 UKey 身份认证系统实现 …… 张彦荣，杨　峰，袁艳芳（377）
一种微电网最优控制仿真系统的设计与实现 …… 杨明晓，洪福斌，孙　立（380）
用电大数据背景下的负荷分析及预测 …… 邵　俊，郑　飞，李昆明，张开振，仲春林（386）
用户侧柔性负荷调控实现需求响应 …… 钱科军，李　博，王卫卫（391）
智能电网居民用户智能用电行为分析系统研究 …… 张　璐，刘兰方（398）
智能会议室关键技术研究 …… 陈振晟，伍泽军，邓文杰（400）
智能网联无人机巡线系统设计 …… 孙　立，张　恺，王静智（410）
DBN 深度学习算法在反窃电系统中的应用研究 …… 李丹丹，葛冰玉，黄文雯，谢　磊（404）
北斗 RNSS 授时技术及其在智能电网雷电定位系统中的应用 …… 张　浩，杨鸿珍，邵炜平，姚继明（405）
电费回收风险预测的大数据方法应用 …… 赵雅迪，陈小峰，王宝亭（407）
核电企业内容分发引擎的设计与应用 …… 汪　鹏，涂红兵，王云福（408）
基于 Q3D 的宽带电力线通信信道建模 …… 曹旺斌，梁晓林，杨　蓉（409）
基于 VLC 的室内定位技术研究 …… 赵大明，王　欣，姚国风，唐新忠（410）
基于大数据分析的锅炉过量空气系数评估模型探讨 …… 苏晓文，刘超飞，王智微，张　浩（411）
基于大数据下的电能替代潜力用户识别模型研究 …… 夏怀健，张　文，贾素锦，林海英，贺新房（412）
基于物联网的电网智能节能量测量方法及实现 …… 张大品，欧清海，何业慎，张翼英（413）
基于自动聚类模型的输电线路外力破坏预警预测 …… 马大燕（414）

人民邮电出版社出版

考虑春节影响的售电量预测结果修正方法 ……
…… 刘　建，赵加奎，陈雨泽，方学民，刘玉玺，王树龙，陈　雁，欧阳红（415）
面向电力业务的“IP+光”网络协同统一控制技术 …… 王东山，马　跃，李　艳，高　建，尹志斌（417）
面向量子密钥应用的电力业务重要度评价方法……
…… 李国春，张素香，邓　伟，于卓智，张叶峰，朱玉坤（418）
面向移动网络环境的智能协同蜜网设计与性能分析……
…… 陈利跃，倪阳旦，孔晓昀，周　升，黄　慧，郑　星（419）
面向智能化变电站的光网络信令安全优化 ……
…… 赵宇皓，郝晓光，耿少博，罗　蓬，周　坤，甄家林，毛玉荣（420）
区块链分布式技术在电力需求侧响应管理中的应用……任昊文，杨雅琪（421）
通道不对称时延对继电保护可靠性影响的量化分析……高会生，沈　青（422）
一种基于力学模型的电力通信网脆弱性评估方法……王耀升，张英敏，王　畅（423）
一种基于人眼视觉特性的 Curvelet 域紫外图像增强算法……
……张　斌，吴　鹏，袁　杰，孙凌卿，傅启明，陆　宇（424）
知识图谱与数据应用-智能推荐 …… 周　晶（425）

人民邮电出版社出版

人民邮电出版社出版

2G、4G、Wi-Fi、McWill 融合研究与运用

林振起，伍泽军，刘杰

（中国广核电力股份有限公司，广东 深圳 518120）

摘　要：主要论述了在电厂现有无线通信系统 McWill 的基础上，通过采用多系统合路平台（POI）创新技术使 2G、4G、Wi-Fi 等无线信号可以共用现有天馈线系统实现射频信号的覆盖，再通过利用现有无线通信系统的光缆资源实现传输，可以快速实现 2G、4G、Wi-Fi 等无线网络在电厂内的部署。

关键词：无线通信系统；2G、4G、Wi-Fi 多系统合路平台

1　引言

核电站的无线通信系统主要用于满足核电应急信息的发布和现场移动语音通话的需求。受电磁干扰问题的困扰，中国核电站目前使用的无线通信技术十分落后，如大亚湾核电站使用的无线寻呼系统，宁德核电站的 McWill 系统。移动办公、移动巡检、无线监控传输、远程维修支持等用户需求不断创新，这些需求的实现要求无线网络具有更好的可移动性、更高的带宽和更快的传输速率，现有网络显然无法满足需求。在保留现有无线系统不变的基础上，要快速引入新的无线通信技术实现多网融合通信。

2　现有无线系统及其应用的局限性

宁德核电站采用 McWill 宽带无线接入系统作为全厂无线通信系统。厂内设两个功能分区：限制区和非限制区，各个分区有不同的功能。限制区包括电气厂房 LX、主开关站，核电站其他区域属于非限制区，非限制区用户可以实现语音通话和收发系统内部短消息，限制区只能接收短消息。该系统是为核电站量身定制的特殊系统，使用 McWill 技术，国内外仅此一家。随着产品的更新换代，核电站使用的设备缺乏备件，移动终端需求量较少，厂商研发成本高，无法规模化生产，导致造价过高，而且在运维过程中发现系统存在较多的软硬件缺陷，给系统运行带来很大危险。随着电站用户的应用需求越来越高，现有的无线系统无法满足大容量、高带宽的应用需求，引入新技术势在必行。

现有 McWill 天馈线系统结构如图 1 所示。

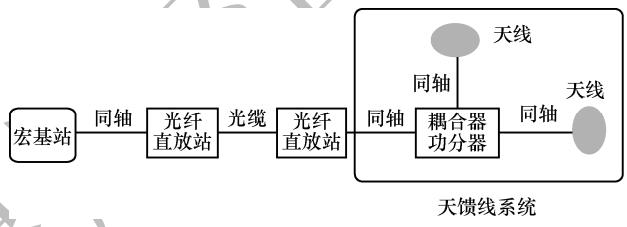


图 1　现有 McWill 天馈线系统结构

3　电磁干扰测试与引入新的无线技术的可能性

核电站内通信系统的搭建可以保障工作人员正常通信，对工作效率和生产效率的提高起到至关重要的作用。然而核电站厂房内安装有大量用于生产和监控的电子、电气设备及系统，保证它们安全使用又极其重要。因此对通信系统与生产和监控设备及系统间的电磁兼容性问题进行研究分析，引入新的无线通信技术前必须进行电磁兼容性的测试和评估，摸清核电控制机组设施设备抗电磁辐射干扰的能力，进一步确定敏感设备，明确设备的敏感频段及抗干扰阈值，为部署规范提供试验和数据支撑。

2016 年，宁德核电站委托中国泰尔实验室在两个机组的大修时间窗口进行电磁兼容性测试，选择有代表性的、易受干扰的、重要的系统或设备进行测试，主要测试设备为仪控机柜、现场重要仪表、现场重要调节阀、电气相关设备等，目的是对这些系统测试完成后可以对核电站整体干扰情况有一个结论。通过模拟各种制式的频段信号（WCDMA、TD-SCDMA、McWill、TD-LTE、FDD-LTE 等）对核电控制设备进

人民邮电出版社出版

行干扰，通过测试找出干扰阈值，为后期限定终端和基站的性能参数提供数据支撑，整个测试项目总共完成对全厂的 98 台设备进行测试，其中有三套设备在信号强度大于 10 dBm 的情况下会有干扰，通过建模测试其中两套设备在 cdma2000 制式下，信号大于 7 dBm 情况下才会对设备造成干扰，具体情况见表 1 和表 2。

通过电磁干扰测试的结论可以看出，核电站区的大部分区域可以引入 2G、4G、Wi-Fi 等无线技术，针对部分敏感设备区域可以通过管理手段限制用户终端的使用，因此在核电现有 MCWILL 无线通信系统上引入 2G、4G、Wi-Fi 的运用是具有可行性的。

4 多系统合路平台（POI）技术

POI（point of interface，多系统合路平台）主要应用在需要多网络系统接入的大型建筑、市政设施内，如大型展馆、地铁、火车站、机场、政府办公机关等场所。POI 技术实现了多频段、多信号合路功能，避免了室内分布系统建设的重复投资，是一种实现多网络信号兼容覆盖行之有效的手段。作为连接信源和分布系统的桥梁，POI 的主要作用是对 CDMA、GSM、DCS、PHS、WLAN、3G 及集群等系统的下行信号进行合路，同时对各系统的上行信号进行分路，并尽可能抑制各频带间的无用干扰成分。POI 系统有以下优点：模块化设计，扩容性好；满足不同系统/频段的个性需求；系统具有整体监控功能，维护方便；信号合路损耗小；功率容量大；三阶互调性能好；可以预留端口，方面升级等。

核电站区的现场环境复杂，尤其是常规岛和核岛，想要在核电站区新建一套室内分布系统，不仅设计施工成本极高而且施工难度巨大，引入多系统合路平台不仅可以避免室内分布系统的重复建设，而且大大降低了施工成本及施工难度。

5 POI 技术在核电无线通信系统中的运用

通常 POI 可以有两种设计方案，系统信号分离方案和上/下行分离方案。

（1）方案一：系统信号分离方案

从基站来的各系统双工信号各通过一个端口接入 POI，设备天馈侧一个端口接出。下行信号体现为“多路合一路”进行信号下行覆盖，用户终端来的上行信号则是通过原通道反向传输，为“一路信号分为多路”，分别回到各自的系统完成系统的上下行通信。

某系统信号分离方案内部示意图如图 2 所示。

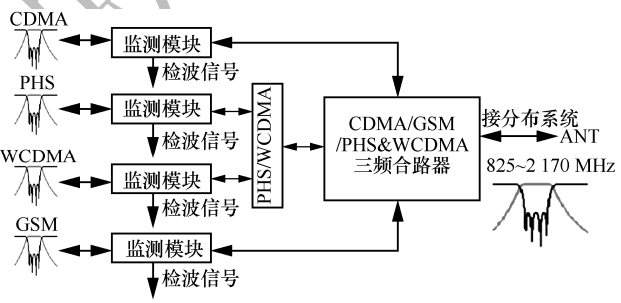


图 2 某系统信号分离方案内部示意图

（2）方案二：上/下行信号分离方案

从基站来的各制式（频分双工）系统分上下行两个端口接入 POI，通过设备后两个端口接出。下行信

表 1 福建宁德核电站项目电磁干扰测试有干扰设备

受试设备	有干扰频段			
	30 dBm	20 dBm	10 dBm	0 dBm
4GEX812DT	80 MHz~1.5 GHz	80 MHz~1.5 GHz	80 MHz~1.5 GHz	无干扰
4RCP150MM(轴承位移)	80 MHz~1.8 GHz	80 MHz~1.8 GHz	80 MHz~1 GHz	无干扰
4RCP151MM(轴承位移)	80 MHz~1.8 GHz	80 MHz~1.8 GHz	80 MHz~1 GHz	无干扰

表 2 福建宁德核电站项目终端模拟测试有干扰设备

受试设备	模拟终端测试				
	WCDMA	TD-LTE	cdma2000	McWill	FDD-LTE
4RCP150MM(轴承位移)	无干扰	无干扰	7 dBm 以下无干扰	无干扰	无干扰
4RCP151MM(轴承位移)	无干扰	无干扰	7 dBm 以下无干扰	无干扰	无干扰

人民邮电出版社

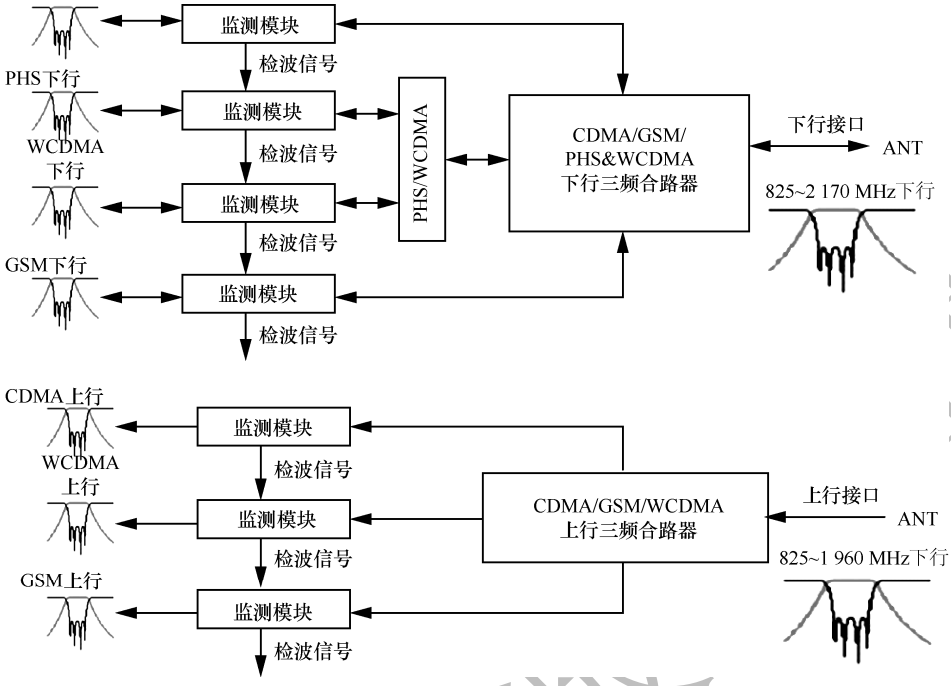


图 3　某上/下行信号分离方案内部示意图

号体现为多路合一路从 Tx 口输出进行信号下行覆盖，用户终端来的上行信号则是通过另外一路 Rx 上行通道反向传输，然后分路回到各自的通信系统。

某上/下行信号分离方案内部示意图如图 3 所示。

两种 POI 方案优缺点比较见表 3。

表 3　两种 POI 方案优缺点比较

	系统信号分离方案	上/下分离方案
标准化设计	可采用标准模块 结构规范	不可采用标准模块 个性独立
损耗	损耗低	损耗可灵活分配
成本	相对低	相对高
研发周期	短	相对长
杂散干扰	相对大	小
无源交调产物	相对大	小

结合宁德核电站现有无线通信系统的情况，McWill 工作频段为 1 785～1 805 MHz、2G 信号主要工作频段 890～960 MHz、移动 4G 工作频段 2 320～2 370 MHz、Wi-Fi 频段工作频段 2 400~2 500 MHz。

McWill、2G、4G、Wi-Fi 工作在不同的频段，各个系统频段间间隔足够大，不易造成引入系统间相互干扰问题，因此可以采用系统信号分离方案进行合路，建设的成本较低，损耗较小，具体的方案就是通过在现有的 McWill 系统天馈线系统增加四频合路器（1 785~1 805 MHz、890~960 MHz、2 320~2 370 MHz、2 400~2 500 MHz）实现四网共用现有的天馈线系统进行射频信号传输，各系统上游设备通过共用 McWill 系统的备用光缆资源实现快速的组网。

多系统合路后的架构示意图如图 4 所示。

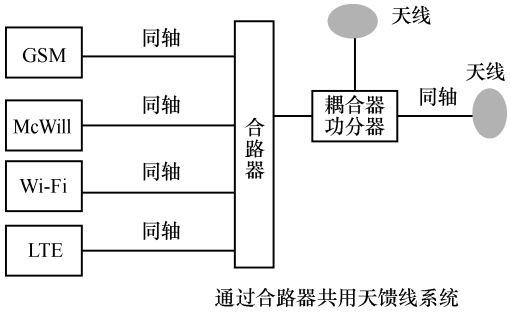


图 4　多系统合路后的架构示意图

6　多系统合路平台在核电无线通信系统中运用带来的价值

多系统合路平台丰富了原限制区只能依靠挂墙电话的单一模式，实现在限制区随时随地联系主控、联系外部的通信能力，多套通信系统互为冗余，确保核

电站重要区域在极恶劣工况下对外联系和高可用。

利用原有的线缆，采用多系统平台（POI）创新技术快速、低成本的建设 2G、4G、Wi-Fi 网络，兼顾轻量级与大数据量级数据传输，为厂房重点区域数据传输提供了基础设施。

利用快速部署的无线数据传输通道，可以完成电子标牌、防人因验证、电子工单、移动巡检、实时剂量管理、全范围作业安全可视化云平台等应用的实现，为核电智慧运营提供移动化、可视化的技术平台，提升安全、降本增效。

7 结束语

通过多系统合路平台技术用单一设备将 2G、4G、Wi-Fi、DTW 等无线信号融合于现有设施，避免了室内分布系统的重复建设，不仅大大降低了成本，而且可以实现多系统的快速部署。多网融合后可以同时提供内网、Internet 接入，满足多种应用需求。融合后的各个系统具有语音高可靠性和自存活能力，用 2G、4G、Wi-Fi、DTW 实现互为冗余的无线通话，且各个系统具备自存活能力；多网融合也为核电智慧运营的移动化、可视化提供数据总线，提升安全性、降本增效，实现信息化与工业化的深度融合。

参考文献：

[1] 中国建筑标准设计研究院. 移动通信室内信号覆盖系统[Z]. 2004.

[2] 苏华鸿, 孙孺石, 薛锋章, 等. 蜂窝移动通讯信射频工程[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.

[3] 无线通信室内信号分布系统: YD/T2704.5-2014[S]. 2014.

[4] 无线通信系统室内覆盖工程设计规范: YD/T5120-2005[S]. 2005.

[5] 中国铁塔股份有限公司. 无源室内分布系统多系统平台（POI）技术要求和测试方法 V1.0.0 [S]. 2014.

[6] 电信基础设施共建共享技术要求: 第 4 部分 室内分布系统: YD/T2164.5-2013[S]. 2013.

人民邮电出版社出版

CPU 仿真中 printf 方法的实现

沈志刚[1,2]，燕雪松[1,2]，赵权[1,2]

（1. 北京智芯微电子科技有限公司国家电网公司重点实验室电力芯片设计分析实验室，北京 100192；
2. 北京智芯微电子科技有限公司北京市电力高可靠性集成电路设计工程技术研究中心，北京 100192）

摘　要：随着计算机与互联网、电子商务、通信设备、各种数字视频音频等电子产品的需求不断增长，对应芯片的复杂度也不断增大，并且都已过渡到了超大规模的芯片。在芯片开发过程中，仿真验证占了整个开发过程的很大比重。基于 CPU 仿真过程中不能够在 CPU 软件中实现打印的问题，设计了一种实现标准 C 语言库中 printf 函数功能的方案，给出了硬件部分与软件部分具体的实现方法，并指出了此功能对提高芯片开发人员 debug（排除故障）效率的重要性。

关键词：芯片开发；CPU 仿真；printf；打印；debug

1　引言

当今 CPU 仿真验证过程多采用将大量的软件代码编译成机器码的形式加载到 CPU 存储器中，CPU 从存储器中取指令并运行程序，整个仿真过程几乎没有和计算机操作系统的交互，尤其不能通过与操作系统通信以控制计算机显示器打印仿真过程中的 CPU 状态、重要数据、程序运行位置等调试信息，给仿真带来很多不便，同时给 CPU 设计验证人员增加了工作量。

总结其原因，整个实验系统非常复杂，涉及广泛，包括软件、硬件、特定的编译工具、仿真工具以及 Linux 服务器等，因此网络上也鲜有这方面的资料。本文基于这种现状为仿真 CPU 核与计算机操作系统的通信提供了一种方法，并给出了整体架构与软硬件实现原理，在 CPU 仿真中实现了 printf 方法。

2　预备知识

2.1　Linux 下 printf 工作原理剖析

下面将用一个简单的例子来阐述用户软件工作原理与计算机操作系统的调用过程：

```
#include<stdio.h>
int main(void)
{
    printf("I have a dream!");
}
```

这是一段最简单的 C 程序，利用 gcc 编译生成可执行文件，名为 print，Linux 命令行中./print 运行该可执行文件，屏幕会打印出“I have a dream!”，然后结束退出程序。相信几乎每个人都知道程序的运行结果，可是只有很少的人思考这句程序的背后计算机都做了什么事情，为什么写了这句话计算机的屏幕就会把字符串显示出来，是谁去通知与控制显示器工作。实际上这些工作都是由计算机操作系统完成的，其中操作系统的主要作用有两个：一是计算机硬件与用户之间的接口，二是与计算机软硬件系统资源的管理者。

运行上述可执行程序时，操作系统具体做的工作如下：

- 操作系统为 print 程序创建进程并且分配内存空间，开辟堆、栈等将程序的代码和数据装入内存；
- 设置进程为就绪状态，待调度程序调度该进程；
- 调度到该进程，将 printf 转换成系统调用，由系统调用访问计算机的显示设备，同时把参数传给显示设备；
- 显示设备的驱动程序接收到命令和参数，把它们转换成显示设备能识别的 I/O 命令，将命令传递给设备控制器，参数传递给显示存储器，启动显示设备；
- 控制器控制显示设备输出字符串“I have a dream!”。

了解了以上内容，即可明确上例情况下 printf 实

人民邮电出版社出版

现在计算机显示终端打印要满足两个条件：用户软件中包含标准 C 库的 stdio.h 头文件，用户软件运行在计算机操作系统之上。

2.2 CPU 工作过程简介

CPU 从存储器中读取指令，放入寄存器中，同时对指令进行译码、对齐等操作。通过译码把指令解析成一系列子操作，然后发出所有控制命令，执行所有的子操作，待所有子操作执行完成，即完成此指令的执行。

指令通常情况下是由单个或者多个 byte 组成的，其中包含一个或者多个源地址字段、目的地址字段、操作数字段、立即数以及特征状态码等。不同类型的指令会包含以上部分或者全部字段。

2.3 ASCII 码对照表

表 1 列出了 ASCII 码常用对照。

3 CPU 仿真中实现 printf 方法的解决方案

3.1 系统方案

本方案构建了一个用于 CPU 仿真的小型 SOC 系统，系统包括 CPU、DMA（direct memory access）、GPIO、SRAM（static random access memory），系统总线选用 AMBA2.0（advanced microcontroller bus architecture）。其中，CPU 和 DMA 作为总线的 master，DMA、GPIO 和 SRAM 作为总线的 slave。完成 SOC 系统的搭建以后，编写控制系统仿真流程的测试平台（testbench），测试平台为 SOC 系统提供时钟、复位、memory 的初始化等必要工作。

仿真系统运行过程中，用户程序运行在仿真系统的 CPU 中，而不是计算机的 CPU 中，若想实现用户程序的 printf 功能打印到计算机显示屏上，必须实现仿真环境中的 CPU 与计算机的 CPU 进行交互，即由仿真环境中的 CPU 发命令给计算机 CPU，计算机 CPU 控制显示器进行屏幕打印。回顾第 2 节介绍的内容，显示设备由显示设备的驱动控制，显示设备的驱动由系统调用函数调用，系统调用函数由计算机操作系统调用，那么只有在 CPU 硬件仿真环境中调用系统函数才能控制计算机显示器的驱动进而控制显示器，最终实现打印。

在基于 VCS 的 CPU 仿真验证环境中，能够与计算机系统交互的只有 Verilog 里面的系统函数，常用的系统打印函数有$display 和$write，这里选用$write，打印后不进行自动换行。然而根本目的是要在用户应用的 C 语言程序中通过 printf 方法实现打印，这样还需要 CPU 软件与 Verilog 硬件进行交互，本系统中的 GPIO 模块即仿真系统中用户软件与计算机硬件的通信桥梁。系统框架如图 1 所示。

3.2 软件库实现方案

软件的实现方案为，调用标准 C 库<stdio.h>中的 sprintf 函数，该函数可以把字符串或者带变量的某种格式字符串打印到字符串变量中，本方案中定义了一个 char 类型长度为 200 的字符串变量 string 作为 buffer 存储将要打印的内容。自定义一个打印函数 spntf，该函数的功能为将 string 字符串中的每个字符分别写到硬件 GPIO 中预先定义好的一个地址中。

系统方案软件部分框架如图 2 所示，应用标准 C 语言库 stdlib.h 库中的 sprintf 函数，该函数可以将各种格式甚至带有变量的字符串保存到一个字符串变量

表 1 本方案 ASCII 常用对照

ASCII 值	控制字符	ASCII 值	控制字符	ASCII 值	控制字符	ASCII 值	控制字符
32	空格	44	,	61	=	94	^
33	!	45	-	62	>	95	_
34	“	46	.	63	?	96	`
39	‘	47	/	64	@	97~122	a~z
40	(	48~57	0~9	65~90	A~Z	123	{
41	)	58	:	91	[	124	|
42	*	59	;	92	\	125	}
43	+	60	<	93	]		

人民邮电出版社

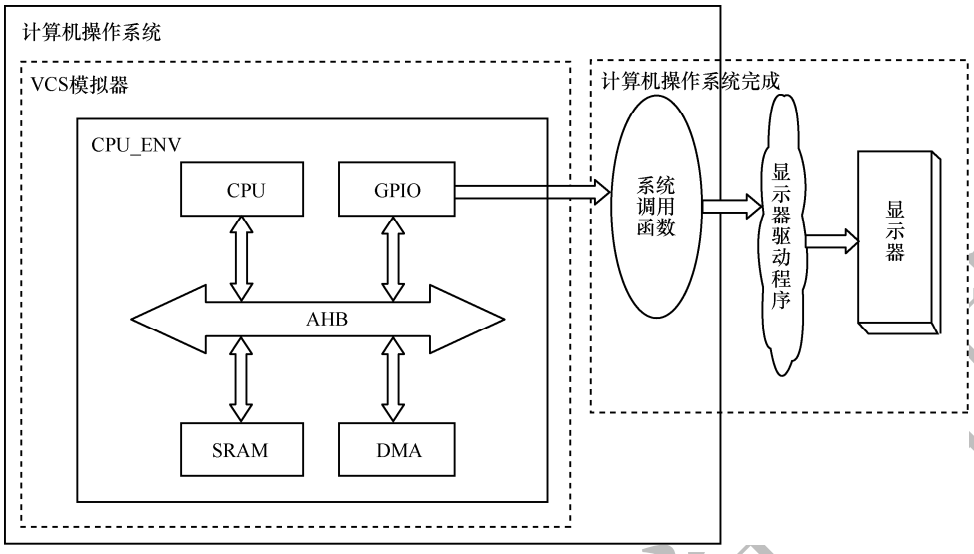


图 1　系统框架

中，即本方案中名为 string 的字符串，spntf 为用户定义打印函数名称，该函数包含一个输入参数：字符串 string 的长度，然后将 string 中的每个字符依次写入 GPIO 中供显示单元应用的寄存器中。

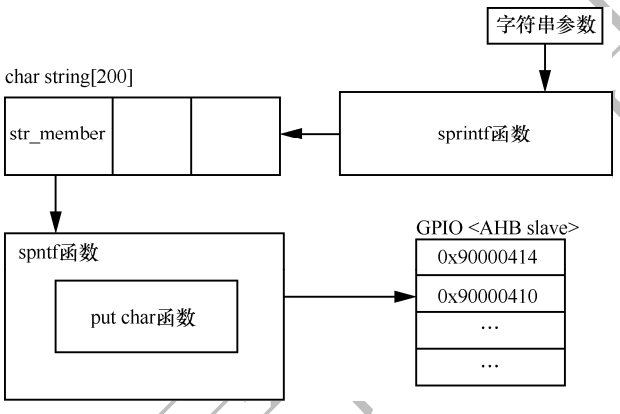


图 2　软件框架

经过以上定义与实现，用户若在程序某处有插入打印需求，操作如下：

spntf(sprintf(string,"all kinds and format of string"));

对于其他已有的同一种 CPU 的程序，对里面的 printf 函数做相应替换，即可在 CPU 仿真环境中运行，并且带有计算机屏幕打印功能。

3.3　硬件逻辑实现方案

硬件的实现方案为，提供一个名为 GPIO 的 AHB 总线的 slave 模块，该模块在 ahb_decoder 中分配了 1 KB 的地址空间，其中总线地址 0x90000414 即打印功能的预设地址值。在仿真过程中 GPIO 模块实时监测总线地址值，当 CPU 中的软件程序向预设地址写数据时，总线会 hit 到 GPIO 模块，CPU 发出向该地址写数据的指令，依据 AHB 总线协议最终反映到总线接口上，GPIO 模块根据总线协议取得预设地址所对应的数据并将其存储在内部寄存器中，此时存储的数据为软件传递过来的字符的 ASCII 值，GPIO 模块中的解码逻辑对 ASCII 值进行解码，解出对应的字符，调用系统函数$write()将字符打印到计算机显示屏上。GPIO 处理流程如图 3 所示。

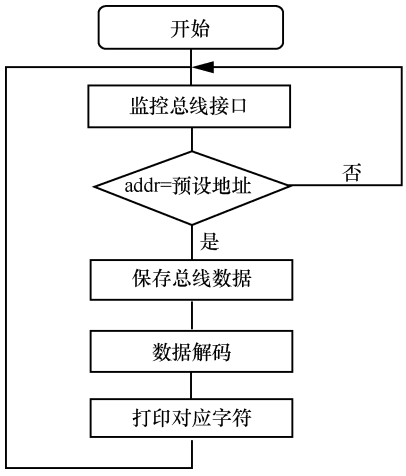


图 3　GPIO 处理流程

关于数据解码部分，对于不同计算机系统会有不同的编码方式，在本仿真系统所在的 Linux 服务器上的编码方式为 utf-8，utf-8 对所有拉丁字母的

编码与 ASCII 一致。在调用标准 C 语言库函数 sprintf 时，系统即采用此种编码方式将字符按照 ASCII 方式存储，传递给硬件的数据实际上是不同的数值，因此需要一个解码逻辑将每个数值解析成对应的实际字符。不同计算机或者不同操作系统会有不同的编码格式，对应的解码逻辑需要做相应调整。

为了构建此功能，SOC 总线系统需额外增加一个 slave 供 GPIO 使用，这个外设并不属于芯片的设计部分，属于 CPU 软仿过程中的一种 debug 方式，在最终版本代码中应去掉 GPIO 部分对应的所有硬件逻辑。类似地，不设计单独的 slave，而是“借用”AHB 总线上已有的某个 slave 的一个地址空间完成此功能，也可以达到同样的效果。

4 结束语

本文提供的在 CPU 仿真验证过程中 printf 实现的方法相对简单，实时性好。相较于通过文件读写的方式进行交互来说，增加实时性的同时又省去了频繁打开、关闭和读写文件这些速度慢的文件 I/O 操作，在仿真速度和性能上都有所提高。尤其有助于验证人员提高测试用例的调试效率，在当下验证人员短缺的情况下有必要普及推广此类方法。

参考文献：

[1] BRYANT R E, O’HALLARON D R. 深入理解计算机系统(英文版·第三版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.

[2] PATTERSON D A, HENNESSY J L. 计算机组成与设计[M]. 王党辉, 康继昌, 安建峰, 等译. 北京: 机械工业出版社, 2016.

人民邮电出版社出版

LTE 230 MHz 电力无线专网的手持信号测试仪设计

杜思伟，杨润安，王宇鸣
（北京国电通网络技术有限公司，北京 100070）

摘　要：现阶段 LTE 230 MHz 电力无线专网测试工具仍属于市场空白，手持信号测试仪的出现对于终端通信接入网的覆盖规划、实施及维护都有着重要的参考价值。手持信号测试仪设计以 ARM 架构处理器为核心，运行嵌入式 Linux 操作系统，提供友好的 UI 界面，配置有 GPS/北斗双星定位系统，并且内置锂电池供电。该手持信号测试仪能实现专网信号的检测、显示、记录，并实现测试过程拍照的功能。手持信号测试仪在成本控制、功耗控制及整机体积方面具有很大优势。

关键词：手持信号测试仪；终端通信接入网；LTE 230 MHz；电力无线专网

1　引言

随着国家电网公司终端通信接入网业务的全面铺开，LTE 230 MHz 电力无线专网铺设范围的扩大，其终端数量也呈指数级上升趋势。为保证电力终端的在线率和系统稳定性，终端天线选址问题迫在眉睫。LTE 230 MHz 无线专网信号覆盖测试所提供的实测数据对于终端通信接入网的覆盖规划、实施及后期维护都有着重要的参考价值，对于 LTE 230 MHz 无线专网的横向及纵向发展有着不可忽略的重要意义。

无线信号覆盖测试大多采用路测的方式，现阶段的专网测试工具仍属于市场空白，仅依赖工程师的经验对信号“好中差”进行判断。而很多情况下，由于电磁波信号的物理特性，在密集城区会发生反射、折射、衍射等各种物理现象，导致信号分布不均匀。如果有一款能够对信号强度等信息进行量化测试的手持式信号测试仪就能更好地满足工作需求。

手持信号测试仪以飞思卡尔的 iMX6 双核处理器为核心，运行嵌入式 Linux3.0.35 操作系统，以 Qt5.4 为应用程序开发框架，配置有“GPS+北斗”双星定位系统，并且内置锂电池供电。该路测仪能实现对专网信号的检测、显示、记录，并具有测试过程拍照的功能。本文设计的手持信号测试仪在填补行业空白、成本控制、功耗控制及整机体积方面具有很大优势。

2　手持信号测试仪的整体设计

2.1　手持信号测试仪的功能需求

在 LTE 230 MHz 电力无线专网领域，专用信号测试工器具尚属于空白，因此在 LTE 230 MHz 建网部署终端阶段，施工现场工程师难以准确地找到无线质量较佳的终端安装地点，从而降低电力无线专网的终端通信网络质量。针对无线专网测试工具现状，现场使用场景需求分析，手持信号测试仪主要功能应有以下几点。

（1）信号参数测量

支持 LTE 230 MHz 电力无线专网信号测量，包括小区编号、工作频段、SINR、RSRP 参数信息。这是手持信号测试仪最主要的功能，提供实时准确的 SINR 和 RSRP 数值信息，以供测试人员对现场的 LTE 230 MHz 的无线信号质量做出客观判断。

（2）经纬度信息显示

在传统的路测工具中，位置信息也是重要的路测信息。因此，有必要在手持信号测试仪中加入经纬度信息显示存储功能。经纬度信息有助于测试人员对现场终端的定位，并且在测试结束后对测试结果回溯，在地图上定位到测试地点。

（3）出色的硬件配置

手持信号测试仪运行嵌入式 Linux 操作系统，使用场景为户外长时间测试使用，应具备定位及拍照功能。因此手持信号测试仪设计为双核 ARM 处理器、720P 高清显示屏、GPS/北斗双星定位模块、500 万像素高清摄像头、12 000 mAh 大容量锂电池。

人民邮电出版社出版

（4）友好的用户界面

手持信号测试仪的适用对象是现场施工测试人员，简洁清晰的用户界面有助于使用人员简化测试过程，降低学习成本。

2.2 手持信号测试仪的设计架构

手持信号测试仪按硬件主要分为嵌入式系统核心板和外围模块，其中外用模块包括 BRU 模块、摄像头模块、液晶屏模块、GPS 模块、RTC 模块、网口模块、USB 接口模块和 PMIC 模块。ARM 处理器是手持信号测试仪的核心控制部分，负责和 BRU 模块的通信及提取数据、GPS 数据的提取解析、液晶屏显示、摄像头驱动以及按键监听等工作。手持信号测试仪硬件框图如图 1 所示。

主要模块介绍如下。

（1）BRU 模块

BRU 模块是已有成熟的 230 MHz 的模块，ARM 核心板与 BRU 模块通过串口通信。ARM 核心板通过串口发送 AT 指令给 BRU 模块，实现获取 SNR、RSRP、cellID 和 subindex 共 4 个与无线网络相关的参考值。

BRU 模块的功耗约为 1.6 W，为了降低系统功耗及延长设备工作时间，设计为支持待机模式。在模式下，系统将会通过 BRU 模块的电源，待重新进入工作模式时，重新接通 BRU 模块电源。

BRU 模块的天线接口设计在外壳上，工作时需要手动安装连接天线。

（2）GPS/北斗定位模块

ARM 核心板通过串口借口接收 GPS/北斗模块发送的信令，通过解析信令得到双星定位以及实时的时钟信息，当系统检查到系统时间与有效的实时时钟不一致时，系统会根据 GPS/北斗定位模块的有效时间进行校对。为了提高该模块有源天线的采样效率，将其天线设计在 GPS/北斗定位模块的上方，朝向天空方向。该天线为设备内置天线，用户无需安装。

当用户在室内使用手持信号测量仪时，由于没有 GPS 和北斗的信号，此时系统的定位功能失效，自动对时功能也同时失效。如果系统时间不准确，需户外系统才能够进行自动对时操作。

使用 PMIC 电源对 GPS/北斗定位模块供电，只要手持信号测量仪的锂电池没有完全耗光，即使在设备关机的情况下，PMIC 仍能够对其供电，避免 GPS/北斗定位模块的“冷启动”，实现手持信号测量仪开机后快速定位。

（3）RTC 模块

ARM 核心板通过 I^2C 接口与 RTC 模块通信，实

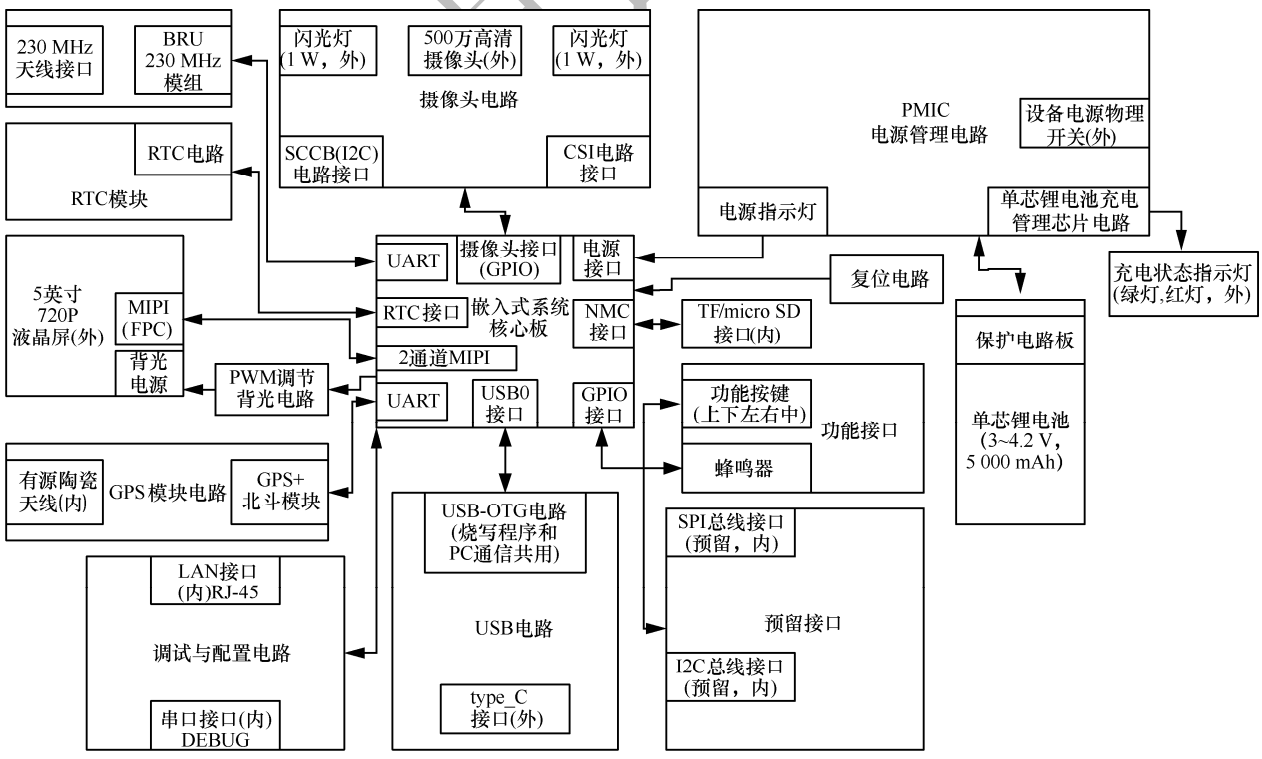


图 1　手持信号测试仪硬件架构

现系统时钟的实时显示。当系统从 GPS/北斗模块获取到有效的实时时间后，系统将与从 RTC 模块获取到的时间进行对比，二者若不一致，则以 GPS/北斗定位模块的时间为准，自动更改系统时间并将该时间写入 RTC 模块。

使用 PMIC 的电源对 RTC 供电，保证在手持信号测试仪关机时，能够为系统提供实时时钟。

（4）type-C 和以太网接口模块

为了在 ARM 核心板升级后，能够兼容同款外壳，特设计采用 type-C 的通信接口，因为目前的 ARM 核心板只能支持 USB2.0 协议，故该接口的其他引脚没有作定义。手持信号测量仪通过该接口进行充电。

手持信号测量仪还预留一个 RJ-45 吉比特以太网接口，通过网线与上位机连接进行网络通信，实现调试与配置等功能。当与上机位通信时，手持信号测量仪将作为外存储设备，上位机可直接对设备数据进行读写操作。

（5）PMIC 模块

PMIC 模块完成系统的电源管理及锂电池充放电管理，通过 I^2C 总线接口与 ARM 核心板通信，实现电池电量监测、系统软关机以及各个模块的电源控制等功能。

PMIC 模块是单芯锂电池与 ARM 核心板的桥梁，统一了 ARM 核心板对电源管理的接口，隔离了具体锂电池的控制细节，方便设计、维护与升级。

PMIC 模块外接设手持信号测量仪的电源按键，通过短按/长按来实现开/关机功能。该模块还提供一个电池充电的指示灯，用于对锂电池充电状态的指示。

（6）摄像头模块

在电力无线专网建设过程中，需要拍摄记录测试点的照片，因此设计采用 500 万像素的 OV5640 V2.0 摄像头模块，通过 MIPI 与 ARM 核心板通信，实现视频预览和拍照功能。系统自动将所拍摄的照片存入系统数据库中，统一保存和管理。

（7）720 dpi×1 280 dpi 分辨率 LCD 及物理按键

手持信号测量仪采用 5 英寸的 720 dpi×1 280 dpi 分辨率 LCD 液晶显示屏作为显示设备，直观明了地显示无线信号质量的动态实时曲线，同时显示系统时间、地理位置和数据库等信息，并以菜单配合物理按键操作的形式实现人机交互。

考虑到工程实时的使用情况，系统没有采用电阻式或者电容式的触摸屏输入方式，而是使用特殊的材料有效地保护了液晶屏的平面，防止裂屏、碎屏情况的发生。物理按键能够很好地适应户外严寒、戴手套操作等苛刻条件，降低了操作难度、扩大了设备适应范围。

3 手持信号测试仪软件设计实现

3.1 UI 界面

为了降低手持信号测试仪使用人员的学习成本，简化测试流程，将 UI 界面设计为单向操作的流程。UI 界面跳转流程如图 2 所示。

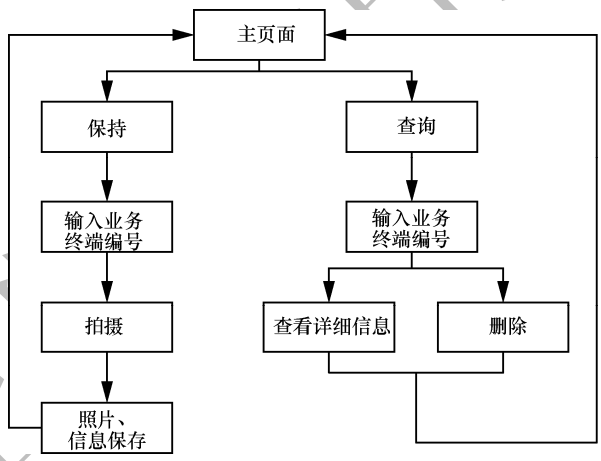


图 2 UI 界面跳转示意

在主界面上，用动态曲线图的方式直观地显示 SINR 和 RSRP 参考值的实时变化情况以及小区号子带号信息和 GPS 定位信息。当用户点击保持按钮时，要求用户输入业务终端编号，之后开启拍照功能，用户拍下当前业务终端图像，当点击存储后，系统自动将当前信号状况、定位信息和图片信息与业务终端编号绑定存入数据库。

系统支持针对业务终端编号的全部查询和模糊查询，用户可查询到已测试终端的测试时间、经纬度信息、信号质量以及照片等信息，并支持用户删除测试信息重新测试的操作。

3.2 LTE 230 MHz 模组信息获取

BRU 模块是已有成熟的 230 MHz 无线模块，对外预留串口作为通信接口，系统通过发送 AT 指令的方式进行通信。当核心板发送特定的 AT 指令字符串时，230 MHz 无线模块会返回包含小区号、子带号、SINR 和 RSRP 值的字符串，通过解析信息字段提取出需要的无线信号信息。提取信息的流程如图 3 所示。

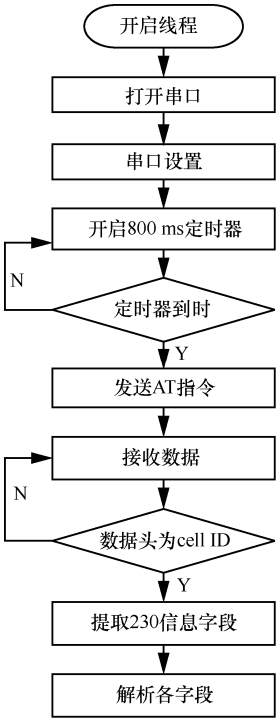


图 3　LTE 230 MHz 模组信息获取流程

3.3　GPS 信息获取解析

手持信号测试仪需要经纬度信息来定位业务终端位置，以及获取时间对设备授时。GPS 的接收模块遵循 NMEA-0183 协议，可以输出多种格式的数据帧，均以“$”开头。输出数据采用的是 ASCII 码字符，内容包含了纬度、经度、速度、日期、航向及卫星状况等信息。由于$GNRMC 定位数据帧格式包含比较全面的定位信息，所以系统选择用$GNRMC 数据帧格式，见表 1。

表 1　GNRMC 数据格式说明

数据位	数据内容
$GNRMC	接收 GPS 语句的起始符
,	域分隔符
<1>	标准定位时间（UTC time）格式：时时分分秒秒.秒秒秒
<2>	定位状态，A 数据可用，V 不可用
<3>	纬度，格式：度度分分.分分分分
<4>	纬度区分，北半球 N 或南半球 S
<5>	经度，格式：度度度分分.分分分分
<6>	经度区分，东 E 半球或西 W 半球
<7>	相对位移速度
<8>	相对位移方向
<9>	日期，格式：日日月月年年
<10>	磁极变量
<11>	度数
<12>	checksum(检查位)
<CR><LF>	终止位

接收到的数据样式为：$GNRMC,<1>,<2>,<3>,<4>,<5>,<6>,<7>,<8>,<9>,<10>,<11>,<12><CR><LF>，系统通过对信息字段解析，获得经纬度和日期等信息，做进一步处理。

3.4　摄像头控制

对摄像头的控制采用 V4L2 编程框架，编程流程如图 4 所示。

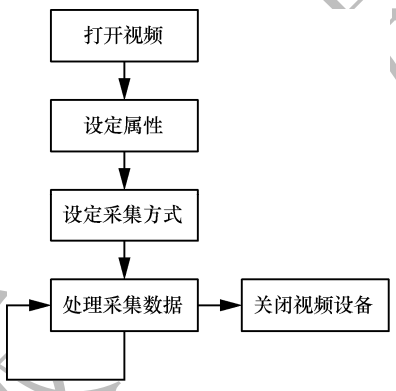


图 4　V4L2 编程流程

操作流程如下。

- 打开设备（open_device()）。
- 初始化设备（init_device()）：查询视频设备功能，参数类型为 V4L2 的能力描述类型 struct v4l2_capability；执行成功时，函数返回值为 0，函数执行成功后，struct v4l2_capability 结构体变量中返回当前视频设备所支持的功能。
- 缓冲区内存申请（init_mmap()）：为缓冲区申请内存，并将缓冲区 mmap 到用户空间；申请视频的缓冲区有两种获取方式，一个是 read 方式，即直接读取图像信息，适用于静态图像的获取，但手持信号测试仪需要实时显示图像，所以使用 mmap 方式。
- 开始拍照（start_capturing()）：投放一个空的视频缓冲区到视频缓冲区输入队列中，并启动视频采集命令，调用 VIDIOC_STREAMON 启动视频采集命令后，视频设备驱动程序开始采集视频数据，并把采集到的视频数据保存到视频驱动的视频缓冲区中。
- 图像帧采集（get_frame()）：从视频缓冲区的输出队列中取得一个已经保存有一帧视频数据的视频缓冲区。
- 停止拍照（stop_capturing()）。

4 结束语

手持信号测试仪具有测量参数精准多样、界面呈现直观友好、辅助测量配置丰富和业务场景适用性广四大优点。在电力无线专网领域，对 LTE 230 MHz 无线专网终端通信接入网的覆盖规划、实施及后期维护都有着重要的参考价值。在部署终端时，其很大程度避免了人为因素造成的终端天线位置不合理，有效地降低了终端掉线率和重装率，同时也节约了人力物力成本。

参考文献：

[1] 刘志凯. 基于 ARM 的公交智能车载终端的设计与实现[D]. 天津: 河北工业大学, 2011.

[2] 孙圣武, 程远. 面向业务覆盖的 LTE 电力无线专网研究[J]. 电力信息与通信技术, 2015, 13(4): 6-10.

[3] 沈炜, 王晓聪. 基于 Qt 的嵌入式图形界面的研究和应用[J]. 工业控制计算机, 2016, 29(1): 101-102.

人民邮电出版社出版

TD-LTE 电力无线专网网络优化方法与关键技术

刘智威[1]，纽彬[2]，汪玉成[1]，吴昊[2]
（1. 国网信通产业集团安徽继远软件有限公司，安徽 合肥 230088;
2. 国网安徽电力六安供电公司信息通信分公司，安徽 六安 237000）

摘　要：电力行业在建无线网络主要采用 TD-LTE 技术，使用 1.8 GHz 和 230 MHz 频段，但电力 TD-LTE 专网系统在迅速建设的过程中，不可避免地会出现网络质量问题。由于电力业务对网络安全性和可靠性要求较高，如何解决好 TD-LTE 网络质量问题，成了目前电力 TD-LTE 专网系统建设的重点问题。因此，调研了全国电力行业在 LTE 网络优化领域的经验，梳理了电力 TD-LTE 无线网络优化的一般流程和应用场景，重点对无线网络优化中存在的常见问题和采用的关键优化技术进行了总结分析。在描述电力网络优化关键技术过程中，有针对性地对电力无线专网特殊性指标和参数进行提示。

关键词：电力无线专网；KPI；网络优化；流程

1　引言

无线网络优化[1]是指对正式投入运行的网络进行数据采集、数据分析，找出影响网络运行质量的原因，并且通过对系统参数和系统设备配置的调整等技术手段使网络达到最佳运行状态，使现有网络资源获得最佳效益。

2016—2018 年，电力行业分批次开展了无线专网初期规模试点建设工作，已建网络主要采用 TD-LTE 技术，使用 1.8 GHz 和 230 MHz 频段[2-3]，网络优化工作均处于摸索期。随着国家电网电力无线专网的规模化推广建设，做好网络优化工作对电力企业的安全生产、稳定运行显得尤为重要。后续国网公司可能会大力推广 230 MHz 频段网络建设，由于 230 MHz 频段的特殊性，其网络设计及采用的技术与标准 LTE 技术有一定差异[3]。同时，智能电网“上行数据大而下行数据小”的特点与电信行业以“语音业务”为主的特点显然不同，虽然运营商具有较为成熟网络优化方法和经验供为参考[4-5]，但是电力行业组织结构及行业应用特点的较大差异性，导致不能完全采用“拿来主义”的思路。

目前电力行业各地区无线网络优化工作规范各不相同，亟需建立一套科学、规范的标准用来指导电力无线专网网络优化工作的开展。本文调研了全国电力行业在LTE网络优化领域的经验，梳理了电力TD-LTE无线网络优化一般流程和优化方法，重点对无线网络优化中存在的常见问题和采用的关键优化技术进行了总结分析，可有效指导电力企业开展无线专网网络优化工作。

2　网络优化触发条件及优化流程

2.1　网络优化触发条件

触发条件是指需要开展网络优化工作的一般情况和场景，触发条件如下。

- 当基站、承载网、回传网、核心网等设备升级或新设备首次投运；网管出现告警、KPI 显著下降；业务部门投诉后，针对所反馈问题经分析、测试确认是网络原因引起的；测试结果不达标或出现部分区域网络监测指标下降；区域中业务点数量、数据流量有较大调整或变化，如某个基站所覆盖小区大量新增智能电表或大流量多媒体终端等。
- 在一定范围内进行有目的的技术试验（如新版本新功能试验、无线参数调整试验等），在试验完成后，也应及时启动网络优化工作。

2.2　优化流程

结合多家电力企业及电信运营商网络优化经验，电力无线专网网络优化的一般流程如图 1 所示。

- 网络优化部门接到调度部门启动网络优化的通知后，应会同调度部门做相关参数及业务质量

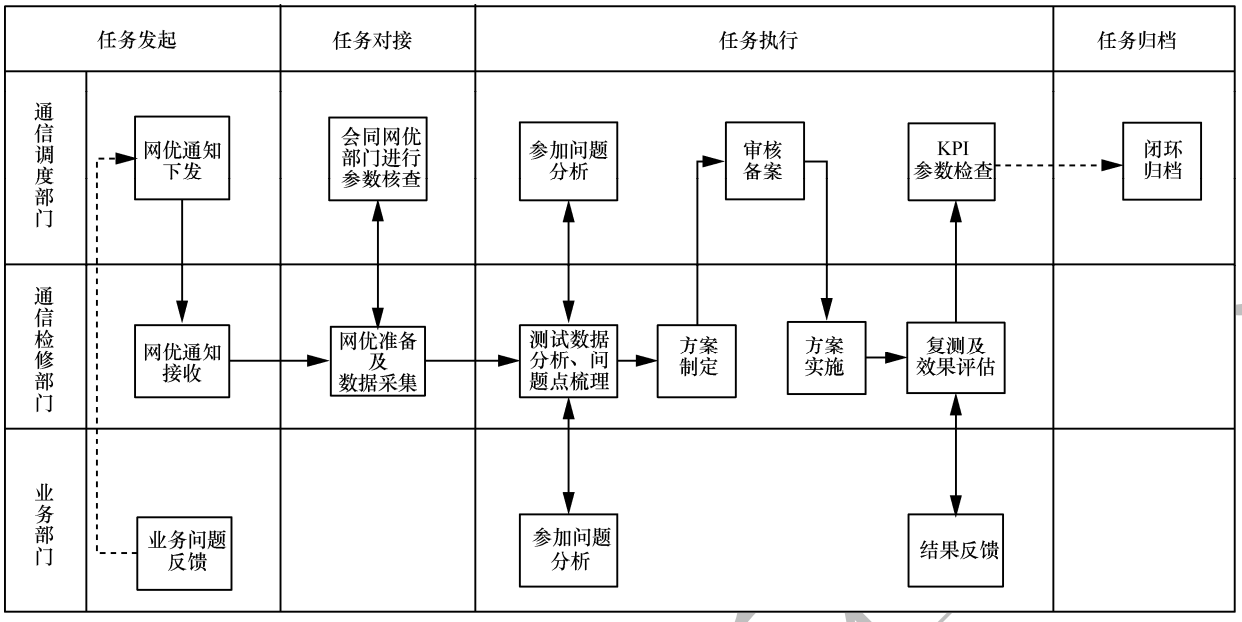


图 1　电力无线专网络优化化流程

情况的调查与核实。包括业务部门反馈问题分析；网管数据收集资料；查阅无线专网设计文件，了解无线网络覆盖情况；从设计、建设或调度部门获得网络参数信息；检查并分析网络配置是否与设计配置参数一致；核查基站及终端 KPI。

- 网络优化部门开展优化前准备，开展现场数据采集并制定优化方案。包括开展测试工具仪表准备；与业务部门排查业务掉线原因；开展现场 DT 测试[6]及 CQT 测试[7-8]；会同调度部门对采集数据进行分析，制定网络优化方案并报备调度部门。
- 网络优化部门开展方案实施、复测和效果评估，调度部门进行核查、归档。包括开展方案实施、对所优化区域开展复测并评估整网的影响；与业务部门核实业务恢复情况；优化效果评估；调度部门进行网管 KPI 参数核查及资料归档。

3　网络优化准备及数据采集

3.1　测试应准备相关的工具仪表

网络优化前应准备的工具仪表包括车辆、便携式电脑、支持 LTE 的路测软件及分析软件、支持 LTE 频段的扫频设备[9]、GPS 定位设备、电子地图、支持 LTE 的专业测试终端（含天线、SIM 卡）及辅助设备（USB Hub、车载逆变器）等。

3.2　数据采集与网络指标

电力无线专网网络优化原始数据采集方式及网络指标主要来源于以下几种方式：当前网络的设计资料和配置文件；OMC 的性能统计和数据业务统计信息、MR 信息[10]；现场测试数据：DT、CQT 测试、扫频分析；业务部门的反馈信息；信令分析仪对 Uu 口、S1-MME 口及 S1-U 口的跟踪数据[11]。

电力无线专网网络指标主要分为覆盖类指标、吞吐率指标、异常事件指标、可靠性指标[12]。具体见表 1。

表 1　常见数据分析指标

序号	一级指标大类	二级指标	主要获取方式
1	覆盖类指标	RSRP、SINR、E_c/I_o、Tx_POWER、IBLER 等	设计文件；OMC、MR；DT 测试、CQT 测试
2	速率指标	小区平均吞吐量、边缘速率	OMC、终端测试
3	异常事件指标	接入失败、掉线、切换失败等	OMC、业务部门反馈
4	可靠性指标	核心网设备运行率、基站设备运行率	统计数据

值得注意的是：核心网设备运行率=（1−（核心网设备故障历时总数/(核心网设备总数×运行时长)））×100%，基站设备运行率=（1−（基站主设备故障设备历时总数/（基站主设备总数×运行时长））×100%，设备运行率可作为该品牌型号设备家族缺陷率的指示，指标不宜低于 100%[13]。小区边缘用户上行接入速率建议不低于 9.6 kbit/s[14]。

4 优化分类及应用场景

网络优化主要分为单站优化、群组优化、全网优化。

4.1 单站优化

新站开通投运后应立即进行单站优化，单站优化主要采用技术手段针对单个基站的配置和天线进行调整。单站优化的内容包括规划数据核查、CQT 及 DT 测试、性能统计指标优化等。单站优化流程如图 2 所示。

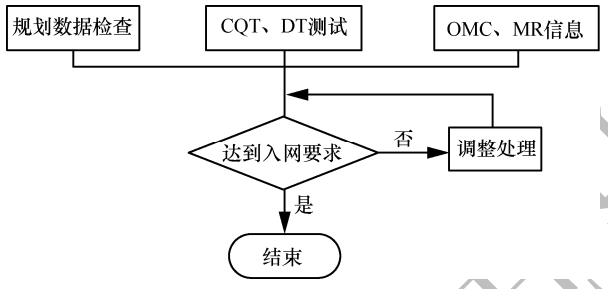


图 2　单站优化流程

4.2 群组优化

在工程实施过程中，基站一般为分批次先后开通。当某一基站群覆盖区域内的基站全部开通后，就可以对这一基站群进行群组优化。群组优化主要技术手段针对片区网络的小区切换、干扰协调、小区容量进行优化。群组优化主要内容包括划分基站群、确定测试路线、现场路测、数据分析及无线网络优化调整等。群组优化如图 3 所示。

4.3 全网优化

所有的基站全部开通且完成全部的群组优化后，进行全网络优化。全网优化的内容和流程与群组优化类似，不同的是全网优化的范围更大并注重全局性问题的发现和解决。全网优化需要借助 OMC 及大数据分析技术进行网络调整。

5 关键优化技术

5.1 覆盖优化

（1）无信号及弱覆盖

实际工程中，可能会出现无信号及弱覆盖问题，特别是凹地、山坡背面、电梯井、隧道、地下车库或地下室、高大建筑物[15]等地区容易出现。主要解决技术手段如下。

核查网络覆盖范围，针对超出覆盖区域、凹地、山坡背面等引起的弱覆盖区域可采取新增站点、中继放大器、一体化基站、微基站、射频拉远等措施延伸覆盖范围；对于电梯井、隧道、地下车库或地下室、高大建筑物内部等信号覆盖盲区，可通过新建室内分布系统、泄漏电缆、定向天线等方案来解决；增加天线挂高来增强覆盖区域；提升 RS 功率增强覆盖；修改基站覆盖增强配置参数如 TTI bundling、修改分集模式、支持 PDCCH 功率分配等；通过合理调整天线方位，解决弱覆盖。

值得注意的是，在同频组网、邻区实际用户占用 50%网络资源条件下，在 A+、A 类地区规划目标覆盖区域内无线网络总体覆盖率应满足 RSRP≥−115 dBm 且 RS SINR≥−3 dB 的位置不低于 95%，在 B、C 类地区不低于 90%，业务终端 99%的时间可接入网络。

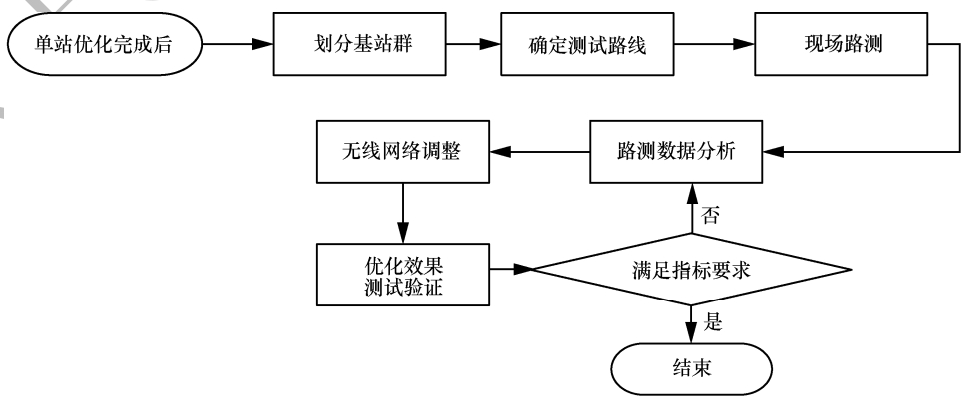


图 3　群组优化

（2）越区覆盖

应进行越区站点平台整改，适当降低天线高度；加大站点下倾角，达到控制覆盖的目的，越区严重站点应考虑更换大倾角天线；核实站点的参考信号功率，适当降低功率控制覆盖；针对街道、湖面区域的覆盖基站合理调整方位，避免产生波岛效应。

（3）无主服务小区

当出现无主服务小区或者主服务小区更换过于频繁的地区，应通过覆盖调整增强主服务小区（或近距离小区）信号强度，削弱非主服务小区（或远距离小区）信号强度；应提升主服务小区 RSRP 功率和降低相邻小区 RSRP 功率；无法通过覆盖优化时，应通过增加基站或搬迁基站，提高网络性能。

（4）上、下行覆盖问题

对于上下行覆盖都很弱的情况，应首先解决下行覆盖，再解决上行覆盖问题。对于上行覆盖弱的情况，应采取排除上行干扰影响、增加塔放、调整天线下倾角和方向角等措施。对于下行覆盖弱的情况，参照弱覆盖问题优化技术或开启下行信道 PBCH、PDSCH、PDCC 重传机制。

5.2 干扰优化

（1）网内干扰问题

测试过程中，若发现 RSRP 及 SINR 都差，则是弱覆盖问题，采用第 5.1 节的技术手段。若 RSRP 正常但 SINR 差，则为干扰问题，可采取如下优化技术手段：进行 RF 覆盖优化，合理控制扇区覆盖范围，降低同频网内干扰；功率参数控制；进行 PCI 合理规划，避免 MOD3/MOD30 干扰[16]；邻区优化；开启设备 ICIC 同频干扰抑制特性。

（2）网外干扰问题

如发现底噪异常过高区域，应及时定位干扰源，对非法干扰源向无线电管理委员会进行举报，其他干扰源宜采取保护带或空间隔离手段解决。针对多个单位获得同频频谱（1.8 GHz 频段），应从无线电管理委员会获取其他单位的频谱、部署位置及发射功率等信息，在规划时应与其他频段使用单位进行协调，通过预留同频保护区、降低发射功率及调整工程参数等手段，防止相互间干扰，同时应考虑异构系统上下行时隙配比统一的问题，避免产生基站间干扰。针对 1.8 GHz 频谱与移动及电信间存在干扰风险，规划时先评估需要的隔离距离，并在部署实施按照规划要求进行。部分站点实施后还存在干扰的，应通过调整下倾、方位等工程手段消除或降低干扰，如还无法控制干扰在容忍范围内，应安装滤波器。

5.3 切换优化

参考文献[17]对无线网络切换流程做了研究，TD-LTE 切换已不仅仅是因为小区状态改变而产生 UE 切换，还有因整个网络负载均衡而使 UE 切换的情况，情况变得复杂。

切换是指当用户在通话状态下，为了保证一定的通话质量，用户从一个服务小区（载频）转换到另一个服务小区（载频）的过程。若用户不能及时切换到信号强的小区，会导致干扰增加、吞吐率降低，甚至掉线，应考虑增加必要的邻区；若在邻区满配时无法加入需要的邻区，应进行邻区梳理并删除冗余邻区；应对切换参数进行优化调整，避免切换发生过早、过晚。

5.4 容量优化

对于网络资源不足的小区，应采取小区分裂、载频扩容等技术手段进行优化；对于高用户数小区，应采取射频优化合理控制覆盖范围，成片区域可考虑选址新建基站增加网络容量；高负荷小区应合理调整参数、开启负荷均衡、采用 PDCCH 自适应算法等技术手段进行优化[18]；条件允许的情况下，应考虑更换高性能设备，增加可支持用户数；应进行小区重选优先级调整，降低高负荷小区的频内小区重选优先级，降低低负荷邻区的频间小区重选优先级，让用户重选驻留到低负荷的异频小区。

5.5 掉线问题优化

当出现大面积业务掉线问题，由于网络原因导致的可能性极高；当出现个别终端掉线，应协同业务部门进行检修。若为网络原因引起，采取的技术手段包括检查无线专网网管告警并排查设备故障，发现异常应及时处理；检查天线权值设置是否存在问题；检查掉线业务点范围内是否存在干扰问题，若存在干扰，应参考第 5.2 节进行优化；检查基站其他重要参数，若存在问题，应及时整改；检查是否存在邻区问题，若存在问题，应参考第 5.3 节进行优化；检查掉线率高的终端所处位置是否存在遮挡等问题，应参考第 5.4 节进行优化；检查是否存在隐性故障并应及时处理。调整小区下最大接入用户，避免高负荷情况下导致终端接入失败，值得注意的是，当业务拥塞时，应根据电力业务优先级进行参数设置（见表 2），确保重要业务优先接入。

人民邮电出版社出版

表 2　电力业务优先级分类

优先级	业务类型
1	控制类 1（如毫秒级精准负荷控制等）
2	控制类 2（如配电自动化三遥等）
3	控制类 3（如常规负荷控制、充电桩、分布式电源等）
4	语音类
5	数据采集类（如用采业务等）
6	其他（如视频、图像等）

6　结束语

电力无线专网网络优化是一个长期的过程，它贯穿于网络发展的全过程，TD-LTE 网络作为海量电力业务终端“最后一千米”接入手段，网络优化工作的好坏直接关系到电力企业安全生产。在开展网络优化前，应做好网络优化准备及数据采集工作，通过 OMC、现场测试以及业务部门反馈等手段发现问题，从覆盖、干扰、切换、容量、掉线 5 个方面着手，采取有针对性的网络优化技术手段，可以大大提升网络优化质量和效率。

参考文献：

[1] 林世明, 高志斌, 高凤连. 基于路测的 TD-LTE 网络优化分析[J]. 现代电子技术, 2015, 38(9): 12-15.

[2] 国家无线电管理委员会. 工业和信息化部关于同意国家电网公司使用电力负荷监控系统频率的批复[Z]. 北京：工业和信息化部, 2017.

[3] 蔡根, 张健明, 杨大成. TD-LTE 电力专网 230 MHz 与 1.8 GHz 的研究[J]. 软件, 2015, 36(12): 83-88.

[4] 周浩, 吴国庆, 陆竑, 等. TD-LTE 230 无线专网在嘉兴电力通信的应用[J]. 浙江电力, 2018 , 37(5): 16-21.

[5] 袁路. LTE 无线网络优化方案浅析[J]. 电信技术, 2015(8): 233-234.

[6] 卢卓君, 彭陈发, 岑曙炜. TD-LTE 网络优化探讨[J]. 电信技术, 2012(7): 52-54.

[7] 陈兆熙. PHS 系统 DT 测试方法简介[J]. 科技咨询导报, 2007(2): 52-54.

[8] 郝敬涛. 基于 GSM 网络的 CQT 拨打测试系统的设计与实现[D]. 哈尔滨：哈尔滨工程大学, 2002.

[9] 周浩然. 多模扫频仪在 LTE 网络规划和优化中的运用[C]//2013 年 LTE 网络创新研讨会, 2013 年 8 月 22 日, 中国, 北京. [S.l:s.n.], 2013.

[10] 方媛. 测量报告在 TD-LTE 无线网络优化中的应用[J]. 移动通信, 2014(8): 30-33.

[11] 田志刚, 黄金平, 黄文学, 等. 畅谈新一代 LTE 网络优化测试产品—LTE 空中接口监测仪[J]. 电信网技术, 2013, 2(2): 61-65.

[12] 李峻洋, 赵占强, 郭省力. LTE 无线网络优化关键性能指标研究[J]. 邮电设计技术, 2014(4): 83-86.

[13] 国家能源局. 电力通信运行管理规程[Z]. 北京：国家能源局, 2013.

[14] 国家电网公司. 国家电网企管〔2017〕931 号文, 电力无线专网规划设计技术导则[Z]. 北京：国家电网公司, 2017.

[15] 毕丹宏, 张益, 方韧. 高层楼宇 LTE 网络优化提升研究[J]. 移动通信, 2016(15): 59-63.

[16] 李宝磊, 周俊, 任晓华. TD-LTE 网络优化关键问题的研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2015, 28(1): 57-61.

[17] 张长青. TD-LTE 小区切换技术分析和建议[J]. 移动通信, 2013(2): 45-52.

[18] 3GPP. Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); physical layer procedures: TS36.213[S]. 2010.

人民邮电出版社出版

VxLAN 技术在电力企业数据中心网络中的应用研究

杨丽，贾国栋
（北京中电飞华通信股份有限公司，北京 100070）

摘　要：数据中心是电力企业重要的 IT 基础设施，它承担了电力企业生产、销售、运营、管理等活动中所产生数据的处理和存储工作，为电力企业的物联网、大数据、云计算等产业布局提供了必要支撑。网络是连接数据中心计算、存储等资源的关键所在，为了提升数据中心网络中虚拟机的迁移能力和租户之间的隔离能力，需要在数据中心中构建大二层网络。主要聚焦于数据中心网络在部署过程中 VxLAN 技术的应用，介绍了几种主流的大二层技术，论述了 VxLAN 和 BGP-EVPN 技术的基本原理，同时列举了常见的 VxLAN 部署方式。

关键词：数据中心；VxLAN；大二层技术；BGP-EVPN

1　引言

随着云计算技术的快速发展和大规模商用，人们对安全、便捷、快速获取和使用 IT 资源的需求也越来越大。数据中心作为存放计算、存储等 IT 资源的基础设施，在云计算时代也越来越受到人们的重视。网络作为连接数据中心内的计算、安全、存储等资源的主要媒介，是衡量数据中心能否提供高质量的 IP 服务的重要元素。

传统数据中心采用的是三层架构，即核心层、汇聚层、接入层，接入层通常是二层设备，用于接入用户服务器。对于不同的租户，传统数据中心网络采用划分 VLAN 的方式进行网络隔离，然后在汇聚层或核心层进行三层路由。但是传统架构具有一些无法适应现有业务的缺陷，首先 VLAN 的网络隔离方式限制了租户的数量，无法满足现有数据中心超大规模租户的部署；其次，传统的二层网络无法满足虚拟机的跨网段迁移，降低了虚拟机的可靠性；再次，传统网络架构的传输性能很大程度上取决于单台设备的性能，不能通过使用设备虚拟化和链路负载均衡技术提高传输效率。

由于数据中心网络的重要性及传统数据中心的缺陷，近年来人们也在不断地根据业务需要优化和提出新的网络技术，VxLAN 就是为了适应云计算数据中心对于网络的要求而产生的一种大二层技术。它可以实现虚拟机的灵活迁移，同时也大大提高了隔离租户的数量，有效地解决了传统网络架构的问题。

2　数据中心主流大二层技术简介

为了满足数据中心内及数据中心间的虚拟机灵活迁移要求，提高可隔离租户的数量，各个标准组织和网络设备厂商都在积极研究开发大二层技术，目前主流的大二层技术有 TRILL、OTV、VxLAN 等，下面简单介绍以上主流大二层协议。

2.1　TRILL

TRILL 技术是将三层链路状态路由协议用于二层网络传输的协议，它在二层网络引入了 IS-IS 协议的控制平面，使得二层网络变得更加智能，由于路由协议本身具备防环功能，使得二层网络不再需要开启 STP，这大大增加了网络的可扩展性和高效性。同时，TRILL 还支持多条路径的 ECMP，有效增强了网络传输效率和可靠性。

TRIL 网络是一种二层网络，当二层网络的规模过大时，会给网络的运维管理带来较大的困难，同时 TRILL 的核心层无法实现三层终结，因此需要在 TRILL 网络上层再增加三层网关，这也大大增加了网络的复杂度和运维部署成本。

2.2　OTV

OTV 技术是思科公司私有的大二层技术，相比于 TRILL 技术，OTV 主要用于构建跨数据中心的二层网络。它在原始数据报文上增加 OTV 字段，用来区分不同租户的二层网络，增加外层 IP 分组头，用于进行 underlay 三层网络的路由。OTV 为传统二层 VPN 引入了控制平面，使隧道两端的设备能够实现 MAC 地

人民邮电出版社出版

址的学习和 ARP 代理，减少了数据中心间的网络泛洪。同时 OTV 也引入了动态隧道建立、负载分担等机制，提高了网络部署和运行的效率。

2.3 VxLAN

VxLAN 是 VMware 和 Arista 主导提出的公有大二层技术，它既可以用于建立数据中心内部的二层隧道，也可以建立数据中心之间的二层隧道。通过 MAC in UDP 的封装，添加 VxLAN 报头字段，它最多可以实现 1 600 万个租户的隔离，突破了传统 VLAN 技术的数量限制。同时 VxLAN 也可以实现动态隧道建立、流量负载均衡、基于 UDP 端口的流量负载均衡等功能。

除了以上几种代表性的大二层技术，各个厂商和标准组织还提出了 SPB、FabricPath、QFabric、VCS、EVN、EVI、NvGRE、STT 等多种大二层技术。由于在隔离租户数量、流量控制、应用场景等多方面的优势，VxLAN 在众多大二层技术中脱颖而出，越来越受到业界的认可和厂商的青睐。

3 VxLAN 技术原理

VxLAN 是一种二层隧道技术，它通过三层网络来承载二层以太网隧道，从而实现跨区域的二层组网。VxLAN 数据分组的封装格式如图 1 所示。

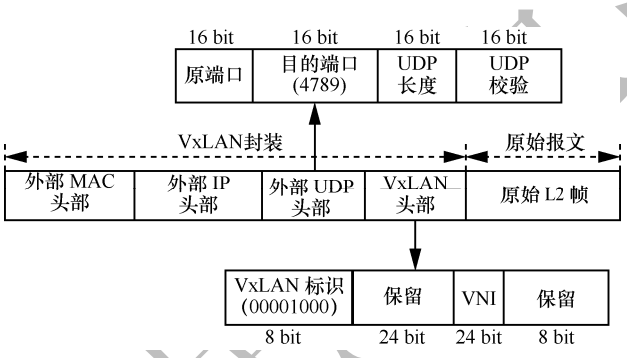


图 1 VxLAN 数据分组封装格式

从图 1 可以看出，VxLAN 帧以 UDP 进行承载，用户的原始报文封装在 VxLAN 中。其中，VxLAN 中含有 VNI 字段用于标识 VxLAN 数据分组，VNI 字段共有 24 bit，可以标识出 1 600 万个不同的 VxLAN 隧道，相比于 VLAN 协议的 4 096 个标识，大大提高了可相互隔离的租户的数量。

当数据中心的底层 IP 网络建立完成后，将连接租户虚拟机的接入交换机作为 VxLAN 的隧道端点 VTEP，在不同区域的 VTEP 上建立 VxLAN 隧道，并将租户的 VLAN 映射到对应的 VxLAN 中，从而实现同一租户不同区域的二层互联。VxLAN 隧道建立过程如图 2 所示。

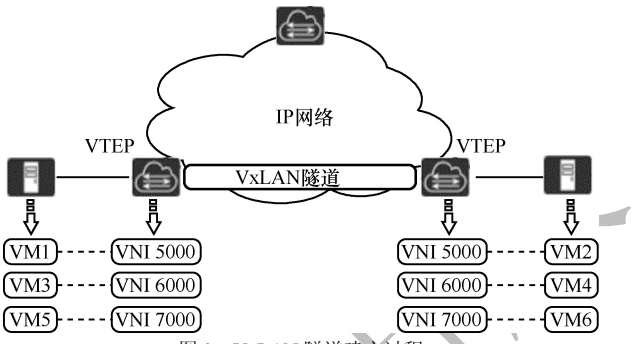


图 2 VxLAN 隧道建立过程

VxLAN 隧道建立完成后，当租户虚拟机向隧道对端发送数据时，首先通过广播或 BGP-EVPN 的方式向对端发送或请求二层地址信息，在 VTEP 上建立 MAC 地址表，数据分组到达 VTEP 后，查询 MAC 地址表和 VxLAN 映射表，对数据分组进行 VxLAN 封装，然后通过封装后的数据分组的外层 IP 地址将数据分组发送到对端 VTEP，对端 VTEP 接收到数据分组后进行解封装并对应之前建立的 MAC 地址表将原数据分组发送到目的虚拟机中。

4 BGP-EVPN 技术

VxLAN 是一种在 underlay 网络之上的 overlay 网络，由于 VxLAN 没有控制层面，单独的 VxLAN 技术需要通过广播的方式传送租户二层地址信息，会导致整个数据中心网络的泛洪，同时手动建立静态 VxLAN 隧道严重限制了 VxLAN 部署的灵活性和可扩展性，所以现有的数据中心网络都使用 BGP-EVPN+VxLAN 的网络架构，通过 BGP-EVPN 来增加 VxLAN 的控制层面，从而增强了 VxLAN 的可用性。

BGP-EVPN 是一种基于 MP-BGP 的 VPN 技术，其协议标准参考了 MPLS L3 VPN 技术，系统组网架构如图 3 所示。

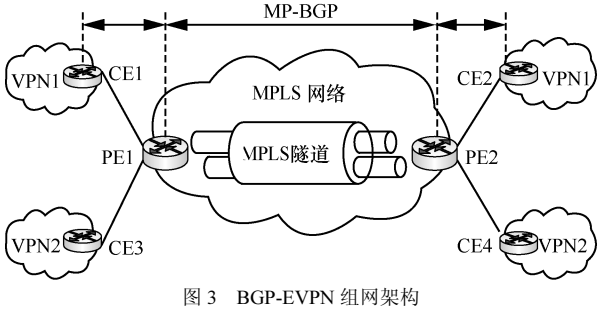


图 3 BGP-EVPN 组网架构

MP-BGP 中含有扩展团体属性字段，可以携带 VPN 隧道两端的二层地址、三层地址等信息。同时，BGP-EVPN 在发布路由地址时会携带 RD 和 RT 信息，可以区分不同的 VxLAN。首先通过调整 RD 和 RT 值，为同一 VxLAN 租户的 VTEP 建立 BGP-EVPN 隧道，隧道建立完成后，VTEP 将主机的 MAC 地址、ARP、IP 地址等信息通过扩展团体属性以单波的方式发送到同一 VxLAN 的其他 VTEP 上。同时，如果有新的 VTEP 加入 VxLAN 中，BGP-EVPN 的扩展团体属性会携带该 VTEP 的 IP 地址等信息发送到其他 VxLAN 内 VTEP 上，从而实现新的 VTEP 自动与其他 VTEP 建立 VxLAN 隧道。

5 VxLAN 部署

根据 VxLAN 网关的位置，可以将 VxLAN 分为集中式部署和分布式部署两种方式。

集中式部署是将 VxLAN 网关部署在 spine 交换机上，如图 4 所示。该部署方式下，网关配置简单，所有的三层转发流量都需要经过 spine 设备，便于维护和管理。但是这种方式对 spine 设备的性能要求比较高，需要 spine 设备具有较大的租户信息标项存储空间和强大的三层转发性能。

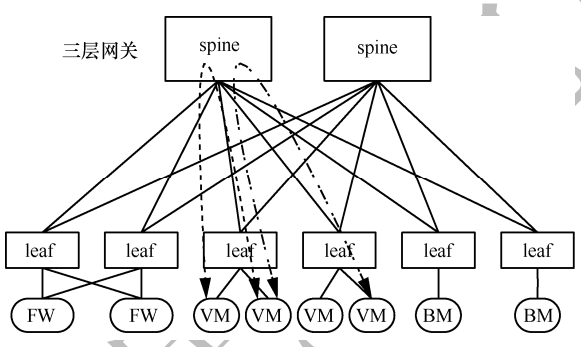


图 4　集中式网关部署模式

分布式部署是将 VxLAN 网关部署在 leaf 交换机上，如图 5 所示。该部署方式下，同一 leaf 下的不同租户流量可以直接通过 leaf 进行转发，不需要再经过 spine 设备，从而减轻了 spine 设备的负担。同时 leaf 设备只需记录本设备下的虚拟机的表项即可，可以有效减小表项不足带来的网络瓶颈。

根据 VTEP 的位置，可以将 VxLAN 分为硬件部署、软件部署、混合部署 3 种部署方式。

硬件部署方式是将 VTEP 部署在连接服务器的接入交换机上，将接入交换机作为 VxLAN 的隧道端点。该方式一般用于新建物理网络的场景，要求接入交换机能够支持 VxLAN 和 BGP-EVPN 等技术，通过 VxLAN overlay 网络，构建灵活的大二层网络。该方式是目前最成熟的 VxLAN 部署方式。

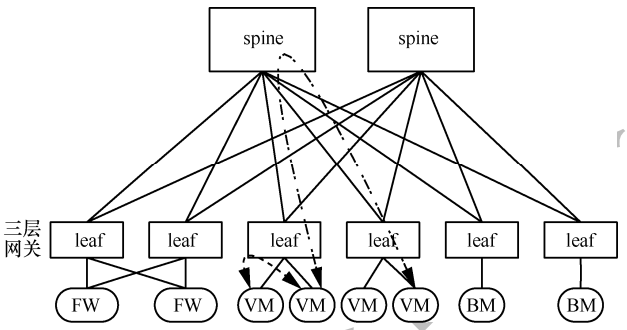


图 5　分布式网关部署模式

软件部署方式是将 VTEP 部署在服务器虚拟化软件的 vSwitch 上，将 vSwitch 作为 VxLAN 的隧道端点。该方式可以不改变现有物理设备，与具体厂商硬件设备解耦，无需配置物理网络，通过服务器虚拟化软件实现大二层网络的自动创建。该方式可以大大节省部署成本，但是部署难度会比较大。

混合部署方式是按照实际部署环境和需求，将一部分 VTEP 部署在接入交换机上，另一部分 VTEP 部署在 vSwitch 上。对于转发性能要求较高的业务系统，将 VTEP 部署在接入交换机上。对于转发性能要求不高的业务系统，将 VTEP 部署在 vSwitch 上，从而节省整体建设成本。

6 结束语

VxLAN 由于其庞大的可隔离租户数量以及灵活的虚拟机迁移特性，越来越受到人们的关注。BGP-EVPN 与 VxLAN 结合后，又有效弥补了 VxLAN 缺少控制平面的缺陷。VxLAN 封装、流量控制等方面的诸多优势使其在众多大二层技术中脱颖而出，成为 SDN 的主流 overlay 技术，各个网络设备厂商和虚拟化厂商都已经有比较成熟的基于 VxLAN 的 SDN 解决方案。随着 SDN 等网络技术的不断发展和越来越多的实际部署，相信 VxLAN 技术也会具有越来越广阔的应用前景。

参考文献：

[1] 张晨. 云数据中心网络与 SDN[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.
[2] 缪仕福. VxLAN 网络技术[J]. 科技资讯, 2015(4): 15-16.
[3] 王春红. 多租户云计算环境下 Overlay 虚拟化网络研究[J]. 内蒙古师范大学学报, 2014, 43(6): 729-738.

变电站人工智能避障巡检设备系统设计

强春雨
（北京国电通网络技术有限公司，北京 100070）

摘　要：传统意义上的变电站由于日常巡检耗费大量人力，随着电网现代化、信息化的发展，结合人工智能设计出一种自动避障检修设备是十分必要的。研究了基于单片机的一种变电站自动避障巡检设备。首先分析了变电站巡检设备系统及人工智能的研究背景与现状，然后简单介绍了 STC89C52 单片机和自动避障巡检设备系统的设计，最后介绍了自动避障巡检设备的软件设计以及调试。

关键词：人工智能；变电站巡检；STC89C52 单片机；红外传感器

1　引言

近几年可以说是人工智能领域大爆发的时代，各色人工智能机器人已经步入了人类的生活中。其实，在 21 世纪中期，计算机专家约翰·麦卡锡就在一次会议上提出了人工智能一词。自此之后，人工智能迎来第一次高峰，在十几年的时间里，人工智能体现在计算机上，用来解决一些数学和语言问题，这一系列突飞猛进的发展使科学家们看到了人工智能的前景，世界上各大高校纷纷设立人工智能实验室，开始对人工智能投入研究。从 1997 年到现在 20 年的时间里，人工领域真正地迎来了自身的大爆发，在如今的生活中，人工智能已经遍及生活的每个方位。传统意义上的变电站由于日常巡检耗费大量人力，随着电网现代化、信息化的发展，结合人工智能设计出一种自动避障检修设备是十分必要的。

本文设计的自动避障巡检设备也属于人工智能的一个范畴，单片机自从 20 世纪 70 年代出现以来，现在已经遍及生活的每个领域，现代人生活中每个电子器件以及机械用品几乎都集成了单片机，因此本文通过单片机来实现避障，既有成熟的硬件支持，也顺应了时代的发展。

因次，研究智能巡检设备并掌握这一基础理论是适应未来发展的必要环节。

2　变电站巡检设备系统及人工智能的研究背景与现状

2.1 人工智能及变电站巡检设备系统的研究背景

目前在变电站巡检设备的发展上，我国最早于 1999 年研制变电站巡检设备，于 2001 年首次提出变电站智能巡检的设想，并于 2005 年研发出样机。随着城市现代化进程不断加快，越来越多的变电站人工巡检的方式已经不能适应其快速的发展。目前国家电网公司已经在不断推广变电站巡检设备的研发和应用。变电站巡检机器人发展至今已经逐渐成为变电站智能化发展必不可少的一部分。

世界上第一台机器人诞生的时候就确定了这一领域早晚会颠覆人类的生活。在 20 世纪，科学家在逐渐发现了神经元以及神经网络的架构时，开始了对模拟神经元的探索，后来人工智能在 1956 年的达特茅斯会议中被提出。在过去几十年时间里，经过几次高峰低谷，伴随着硬件设备的一次次革命性的创新发展，人工智能有了越来越好的硬件基础，使得更多的理念得以实现。尤其在人工智能这一概念提出之后至今，各类相关公司可以说是百花齐放，随着各类技术进步，人们不再满足于现状，更多的小说、电影里的情节开始被探讨，因此涌现了各类便利的发明。

在此大环境下，当思想不再局限于设备必须走直线、机械必须人工操纵时，变电站智能避障巡检设备的提出便是一种顺应时代的产物，在单片机还在被广泛应用的这个时代，此技术一旦被深入开发，将在各个领域之中都有美好的发展前景。

2.2　变电站巡检设备及人工智能的研究现状以及前景

目前世界上机器人的智能水平还不高，只是处于起步阶段，如今的智能机器人属于第三代机器人，以带有传感器为标志和核心，可以将传感器收集到的信息进行分析以达到适应环境和学习的目的。国际上巡

人民邮电出版社出版

检机器人领域已经开始深入完善一些关键技术（如多传感信息耦合技术、人机接口技术等）。美国以及欧洲各国在巡检机器人领域一直处于领先地位，巡检机器人技术早已深入各个领域之中。而我国的巡检机器人方面起步较晚，虽然发展较快并且取得很大的进步，但是由于其他国家对于一些高尖技术的垄断，所以与顶尖水平还有一定的差距。与此同时，本文的核心单片机作为当今科技机械领域的中坚力量，其本身的嵌入式系统相比其他竞争者具有得天独厚的优势，加上低廉的价格，更加提高了变电站智能巡检避障机器人的可行性，使其具有极高的发展上限。

3 STC89C52 单片机简介

3.1 单片机的发展历程和发展趋势

单片机具有规模小、成本较低等优点，因此被广泛应用在工业生产、家电产品等领域。在工业生产中，单片机是微型计算机中颇具生命力的一种。单片机特别适用于控制领域，因此也被称为微控制器。

单片机全称为单片微型计算机，是通过微型化技术将计算机的基本部分集成在一块芯片上的微机。基本结构包括 CPU、ROM、RAM、并行 I/O、串行 I/O、定时/计数器、A/D、D/A、终端控制、系统时钟以及系统总线等，它本身就是一个嵌入式系统，与此同时也是其他嵌入式系统的核心。

3.2 STC89C52 单片机

STC89C52 是 STC 公司生产的一种耗能极低同时具备高性能的 CMOS 8 位微控制器。在单芯片上，拥有灵便的 8 位 CPU 和系统可编程 Flash，使得 STC89C52 单片机在各类嵌入式系统中具有灵活、高效的特点。

主要特性如下。

- 增强型 8051 单片机，6 时钟/机器周期和 12 时钟/机器周期可以随意选择，指令代码与传统的 8051 相兼容。
- 工作电压：3.3～5.5 V（5 V 单片机）/2.0～3.8 V（3 V 单片机）。
- 工作频率范围：0～40 MHz，相当于普通 8051 型的 0～80 MHz，实际工作频率可达 48 MHz。
- 用户应用程序空间为 8×10^3 byte。
- 片上集成 512 byte RAM。
- 通用 I/O 口（32 个），复位后：P1/P2/P3/P4 是准双向口/弱上拉，P0 口是漏极开路输出，作为总线扩展使用时，不用加上拉电阻，作为 I/O 口用时，需加上拉电阻。
- ISP（在系统可编程）/IAP（在应用可编程），无需专用编程器和仿真器，可通过串口（RxD/P3.0、TxD/P3.1）直接下载用户程序，数秒即可完成。
- 具有 EEPROM 功能。
- 具有看门狗功能。
- 共 3 个 16 位定时器/计数器，即定时器 T0、T1、T2。
- 外部中断 4 路，下降沿中断或低电平触发电路，Power Down 模式可由外部中断低电平触发中断方式唤醒。
- 通用异步串行口（UART），还可用定时器软件实现多个 UART。
- 工作温度范围：–40℃～+85℃（工业级）/0℃～75℃（商业级）。
- PDIP 封装。

STC89C52RC 单片机的工作模式如下：

- 掉电模式：典型功耗<0.1 μA，可由外部中断唤醒，中断返回后，继续执行原程序；
- 空闲模式：典型功耗 2 mA；
- 正常工作模式：典型功耗 4～7 mA。

掉电模式可由外部中断唤醒，通常用于水表、气表等电池供电系统及便携设备。

4 自动避障巡检设备系统的设计

4.1 电压检测模块设计

电压检测模块为整个巡检系统的基本保障，只有保障电压数值的稳定才能驱动设备的行动。本文选用的充电电池安装之后显示在 8 V 左右。

4.2 避障模块设计

本文选用的是红外避障模块，相比较超声波避障来说优点如下：光速显然远大于声速，红外线的反应比超声波快且稳定，适用范围广，采集数据精准，不受风、温度的影响，并且红外线更为廉价。综合考虑，选用红外传感器来当作避障模块的核心器件。

4.3 开发板设计

开发板作为整个项目的核心，采用的是 STC 厂商生产的 STC89C52 系列单片机，内核为 51 单片机，但是在 51 单片机的基础上进行了改善，使用稳定度高、能耗低。主要用来烧录编译好的程序，实现避障功能

水电部电出版社出版

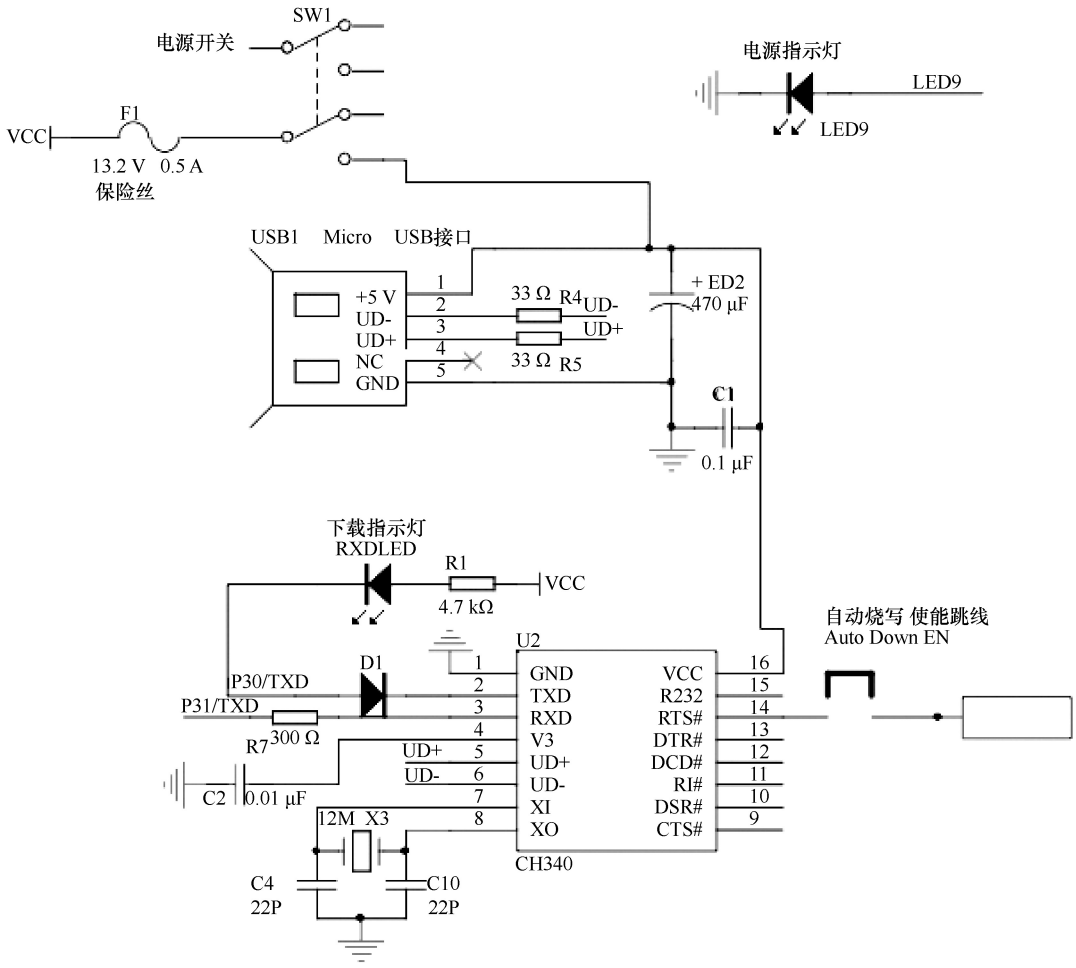


图 1　供电、程序烧写、串口通信模块原理

的关键就在于此。

自动避障巡检设备集成各模块的原理如图 1~图 7 所示。

4.4　电机模块的调试

电机模块是整个系统的动力总成，调试原理为通过开发板输出信号给 L293D，驱动两个马达正转和反转。

具体做法为：将巡检设备电源开关打开，通过杜邦线连接 J10 排针上的相应引脚。P1.2IN1 接到 J5 排针的 VCC 上左电机反转；P1.3IN2 接到 J5 排针的 VCC 上左电机正转；P1.6IN3 接到 J5 排针的 VCC 上右电机正转；P1.7IN4 接到 J5 排针的 VCC 上右电机反转。

注意事项：在测试时，P1.4EN1 与 P1.5EN2 必须悬空或者接在 VCC 上，不可接在 GND 上。

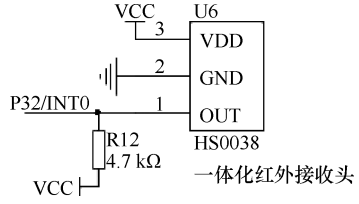


图 2　红外模块原理

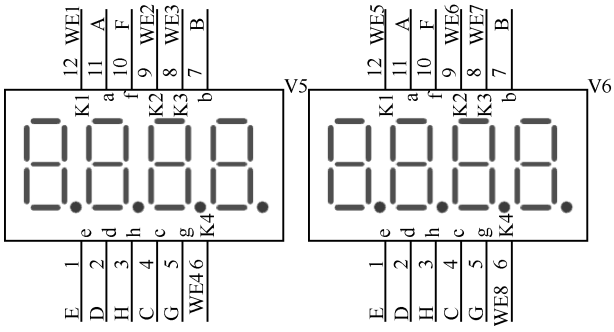


图 3　8 位共阴极数码管

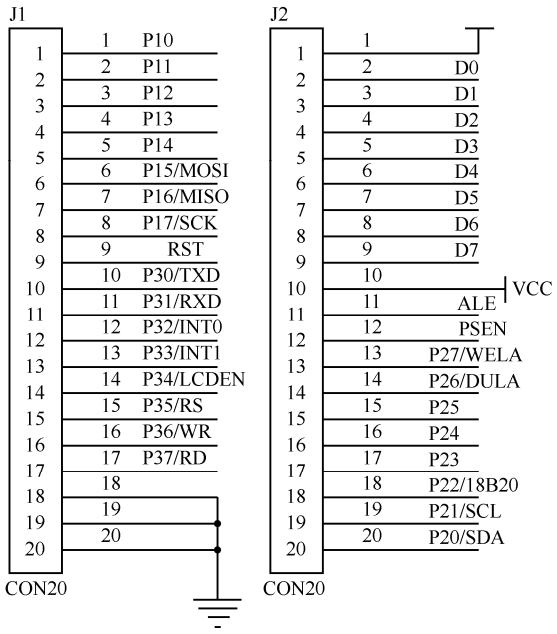


图 4　I/O 口

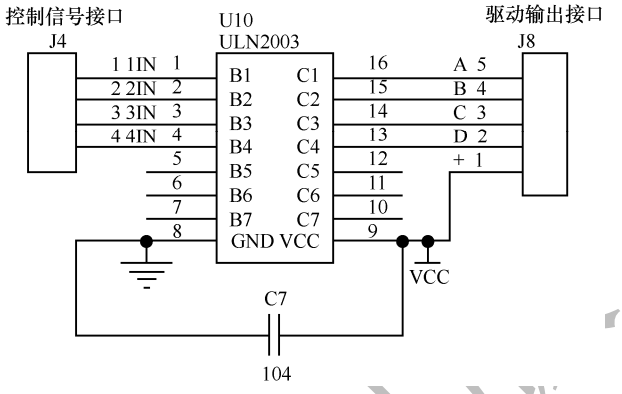
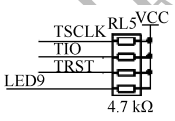


图 5　电机驱动模块

5　自动避障巡检设备的软件设计以及调试

5.1　主程序设计

主程序的设计为整个设计的核心，作用为通过红外传感器收集距离信息，将采集的信息与设定好的基



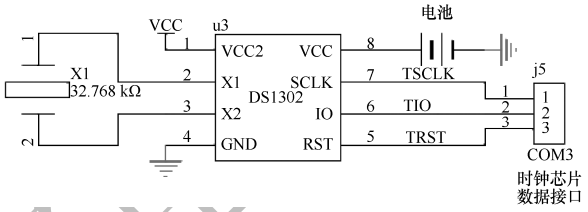


图 6　DS1302 实时时钟模块

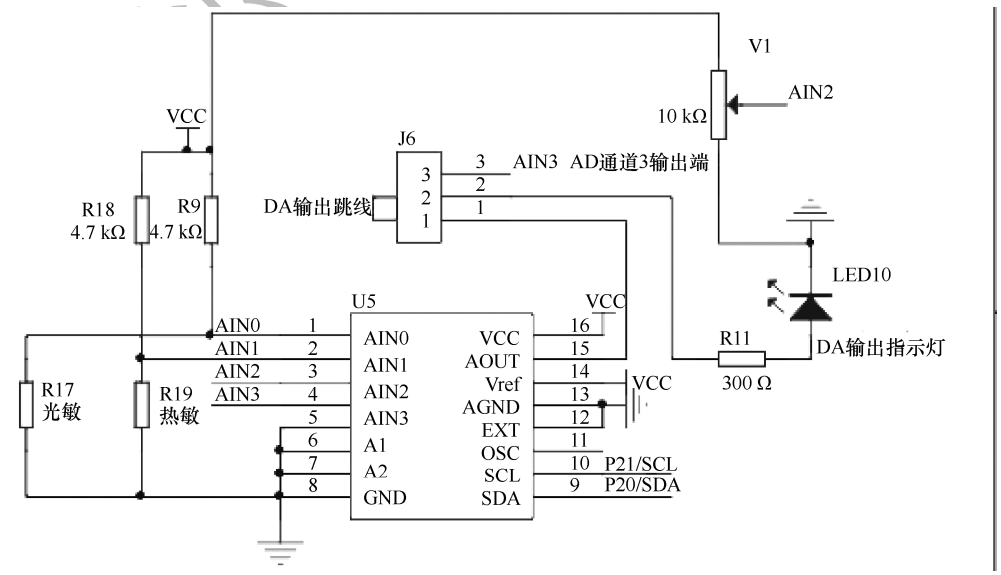


图 7　PCF8951 数模转换模块

准值进行比对，如果距离小于预先的设定值，则使蜂鸣器发出预警信号，时延 1 s 后改变巡检设备行驶方向，具体程序如下。

```
#include <reg52.h> //51 头文件
#include <..\CONFIG\QXA51.h>//QX-A51
 unsigned char pwm_left_val = 100;//左电机占空比值 取值范围 0~170，0 最快
unsigned char pwm_right_val = 100;//右电机占空比值取值范围 0~170，0 最快
unsigned char pwm_t;//周期

void delay(unsigned int z)//毫秒级时延
{
unsigned int x,y;
for(x = z; x > 0; x--)
      for(y = 114; y > 0 ; y--);
}
/*巡检设备前进*/
void forward()
{
left_motor_go; //左电机前进
right_motor_go; //右电机前进
}
/*巡检设备左转*/
void left_run()
{
left_motor_stops; //左电机停止
right_motor_go; //右电机前进
}
/*巡检设备右转*/
void right_run()
{
right_motor_stops;//右电机停止
left_motor_go;      //左电机前进
}

//定时器 0 中断
void timer0() interrupt 1
{
pwm_t++;//周期计时加 1
if(pwm_t == 255)
      pwm_t = EN1 = EN2 = 0;
if(pwm_left_val == pwm_t)//左电机占空比
      EN1 = 1;
if(pwm_right_val == pwm_t)//右电机占空比
      EN2 = 1;
}
void main()
{
for(;;)      //死循环
{
      if(key_s2 == 0)//检测 S2 按键是否被按下
      {
            delay(5); //软件消抖
            if(key_s2 == 0)//再检测 S2 是否被按下
            {
                  while(!key_s2);//松手检测
                  beep = 0;  //使能有源蜂鸣器
                  delay(200);//200 ms 时延
                  beep = 1;  //关闭有源蜂鸣器
                  break;            //退出 FOR 死循环
            }
      }
      delay(1000);//时延 1 s
      TMOD |= 0x02;//8 位自动重装模块
      TH0 = 220;
      TL0 = 220;//11.059 2 MHz 晶振下占空比最大比值是 256，输出 100 Hz
      TR0 = 1;//启动定时器 0
      ET0 = 1;//允许定时器 0 中断
      EA   = 1;//总中断允许
      while(1)
      {
            //为 0，识别到障碍物；为 1，没有识别到障碍物
            if(left_led2 == 1 && right_led2 == 1)//左右都没识别到障碍物
            {
                  forward();//前进
            }
            if(left_led2 == 1 && right_led2 == 0)//巡检设备右方识别到障碍物，向左转动进行躲避
            {
```

人民邮电出版社出版

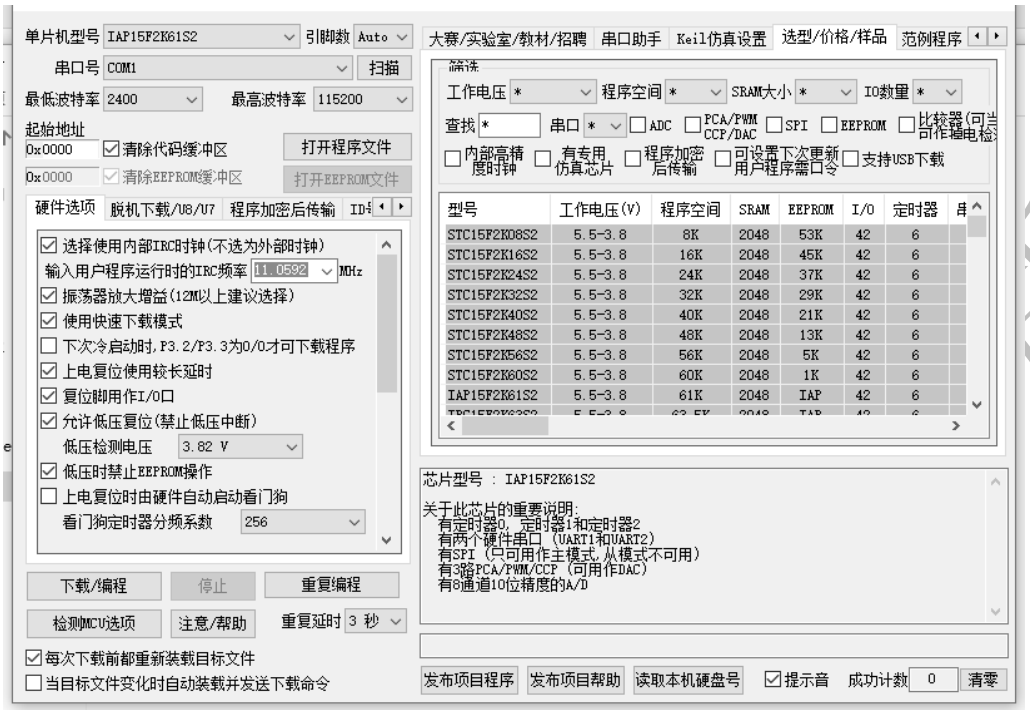


图 8　stc-isp 软件的运行

```
            left_run();//左转
        }
        if(left_led2 == 0 && right_led2 == 1)//巡检设备左方识别到障碍物，向右转动进行躲避
        {
            right_run();//右转
        }

    }
    }
```

5.2　单片机的程序烧写

程序烧录就是把原程序经编译处理后加载到计算机中，让计算机执行编写的程序，单片机程序烧录的时候加载.hex 文件，存储在单片机中，开机就能实现所写的程序，简单地说，单片机执行程序的过程就是程序烧录。硬件与程序都准备好之后，下一个关键步骤就是将所写程序烧写到单片机内，本文选用的是 STC 公司的单片机，烧录软件也是该公司生产的名为 stc-isp 的软件，是一款已经被广泛使用的烧写软件。

将主板连接到电脑上，通过 stc-isp 把已经编译好的程序烧录进去。stc-isp 软件的运行如图 8 所示。

6　结束语

随着电网智能化脚步的不断加快，对于电力产业与人工智能向结合的要求不断提高。在以往的自动化发展中，各个国家把发展的主要方向定在了工业方面，而现在随着各类技术的突飞猛进，科学家们逐渐把目光投向了日常生活中。在当今 IT 行业高速发展的大环境下，伴随着单片机技术的不断完善，以自动避障为核心思想的一系列衍生物开始走入平常百姓的视线中。本文探讨的变电站自动巡检避障技术就是其合理的应用。而将其应用于变电站中的巡检设备，也是电网智能化发展不可缺少的一部分。

参考文献：

[1] 刘晓荣, 姬智华, 李善瑜. 基于 51 单片机的简易计算器设计[J]. 华章, 2013(32).

[2] 李群芳, 肖看, 关新, 等. 单片机微型计算机与接口技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2015: 1.

[3] 吴运金, 燕飞. 嵌入式技术在纺织机械控制系统中的应用[J]. 科技资讯导报, 2007(25): 38-39.

[4] 杨凡, 高思奇. 浅谈单片机发展历程及趋势[J]. 科技创业家, 2013(14): 65.

[5] 何立民. 单片机应用技术选编[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.

电力大数据的未来发展趋势

汪俊洋[1]，李明[2]
（1. 国网鄂州供电公司，湖北 鄂州 436000；2. 国网黄冈供电公司，湖北 黄冈 438000）

摘　要：大数据即巨量数据集合，是需要新处理模式才能具有更强的决策力、洞察发现力和流程优化能力的海量、高增长率和多样化的信息资产。随着智能电网高速建设、全球能源互联网的提出，电力数据资源迅速增长，电力大数据的应用对电力企业质量及效率的提升作用越来越显著，它将成为电网未来的发展方式和企业发展模式转变的原动力。首先介绍了大数据的概念，之后分析了大数据在电力行业的应用现状，最后结合现状预测了电力大数据的未来发展趋势。

关键词：电力大数据；应用现状；发展趋势

1　电力大数据技术

1.1　大数据的定义

麦肯锡全球研究院对大数据给出的定义是：一种规模大到在获取、存储、管理、分析方面大大超出了传统数据库软件工具能力范围的数据集合，具有海量的数据规模、快速的数据流转、多样的数据类型和价值密度低四大特征。

可以预言大数据技术是未来发展的基础。对于企业来讲，大数据的战略意义不是掌握庞大的数据信息，而是对收集到的庞大数据信息进行专业化处理。通俗来说，如果把大数据比喻成一个公司，那么这个公司实现盈利的关键就是对大量数据信息的“加工能力”，通过加工分析实现数据信息的增值。

1.2　电力大数据概述

2013 年，中国电机工程学会电力信息化专业委员会发布的《中国电力大数据发展白皮书》掀起了电力大数据的研究热潮，电力大数据的有效应用引起了电力行业高层和有识之士的广泛关注。利用电力大数据的技术手段不仅可以为电力行业提供大量的高附加值的增值服务业务，同时对与电力行业息息相关的其他领域也具有极大的益处。通过近几年电力大数据管理的实际运用，电力企业盈利与控制水平较之以前有了质的飞跃。因此，业内普遍流传一句话，每当数据利用率提高 1%，便可使电网企业的利润提高 1.5%~5%。

电力大数据主要是电能从生产到传输到用户使用全过程的数据信息，涉及发电、输电、调度、配电和营销五大部分。电力大数据分析是一个跨专业、跨企业的综合业务数据采集、分析和挖掘过程，最终形成数据的可视化，为管理层提供决策依据。电力大数据的特性满足维克托·迈尔-舍恩伯格在《大数据时代》提出的大数据的 5V 特点：大量（volume）、高速（velocity）、多样（variety）、低价值密度（value）、真实性（veracity），具体表现如下。

（1）大量

中国拥有最庞大的用电人口基数和巨量的工业用电需求，电表数量有数十亿个，还有数量庞大的各电压等级变电站、换流站、各种类型变压器等，数据体量是其他行业望尘莫及的。

（2）高速

海量的电力数据对数据的传输和处理提出了更高的要求，这就必然与传输方式和云计算息息相关。在国网公司，光纤通信目前依然是主流传输方式，但随着数据采集从大的变电站点延伸到线路开关、断路器等线路末端，无线传输也逐渐抛头露面，高速的数据采集能力和数据分析处理能力成为大数据发展的基石。

（3）多样

按时间分，电力数据可分为实时数据、历史数据；按表现形式分，可分为文本数据、多媒体数据；按结构分，可分为结构化数据、半结构化数据和非结构化数据。多种多样的表现形式是电力大数据的一个重要特性。

（4）低价值密度

数量庞大的电力大数据中，真正对企业规划发展有用的信息占极少数。如何在庞大的数据中挖掘有用

人民邮电出版社出版

信息为企业资源调配、营销战略调整提供决策依据是大数据应用的根本核心，低价值密度数据浓缩形成价值含量高的数据是未来电力大数据的永恒命题。

（5）真实性

电力大数据的真实性是大数据发展的本质，无法保证这一点电力大数据就失去了存在的意义。

2 电力大数据的应用

2.1 应用场景

2.1.1 科学统筹规划电力基础设施建设

通过电力大数据的收集分析，准确地掌握每个地区用电负荷的分布和变化规律，提高各地区用电负荷的监控，为变电站、变压器、开关等电力基础设施建设提供依据，优化电力网络架构合理调配电力资源。

2.1.2 智能分析保障电网安全稳定运行

在国网公司，各级调度指挥系统实时对电力大数据中的异常数据进行分析，对比历史数据发现电力设施的故障，通过收集各类监控设备的信息，快速对故障进行定位，并主动采取措施，如开关保护动作等。利用庞大的数据开展智能分析，建立设备检修、运行环境和其他因素对电力设备状态影响的模型，评估电力设备运行的风险水平，利用并行计算等技术实现检修策略优化，指导状态检修的科学开展，为电网的安全运行提供坚强的保障。

2.1.3 合理运用深入挖掘数据核心价值

利用云计算、分布式处理技术、大规模并行处理数据库等技术，扩展用电采集的范围和频次，利用聚类模型等挖掘手段，开展对用电行为特征的深入分析，并实施区别化的用户管理策略，实现全方位在线监测、分析、计算，通过聚类和模式识别技术，解决跨业务的关联分析、数据因子分析、数据诊断规则和算法，提高数据质量监控和治理。挖掘大数据中的价值信息，为广大电力用户提供精准营销，实现电力企业被动服务转变为主动服务的蜕变。

2.2 现阶段电力大数据的发展桎梏

2.2.1 不同电力企业之间缺乏信息交换

2003 年 8 月 14 日，北美五大湖地区发生大规模停电事故，成为北美进入电气时代以来最大规模的一次停电事故，约 5 000 万人受到影响，至少造成 21 座电厂停运，经济损失不可估量。事故主要起因是用电高峰时一条线路接地。北美五大湖地区的供电由 5 家电力公司承担，为什么一条线路的接地会引发如此重大的事故呢？一个重要的原因是各电力公司之间缺乏及时有效的信息交换。事故发生后，有专家分析事故过程指出，如果 5 家电力公司之间能建立起及时高效的数据传输途径，那么这起重大事故完全可以终止于小范围停电。

目前，国内主要的电力企业是五大发电集团、国家电网公司和南方电网公司。随着电力体制改革，众多售电公司纷纷进入电力行业，各个公司之间基本不存在数据交换。由于目前以国网公司为主体的电网架构覆盖全国 26 个省（自治区、直辖市），占国土面积的 88%以上，供电服务人口超过 11 亿人，因此类似于美国五大湖地区大停电的事故基本无可能出现在目前的中国电力系统。随着电力体制改革的深化，电力行业间的数据信息交换不畅必将掣肘电力系统安全稳定运行。

2.2.2 电力数据的安全性日趋重要

2015 年末，在乌克兰发生了一起震惊世界的大规模停电事故，这是首例电网因遭黑客攻击而造成的停电事故，乌克兰至少 3 个区域的电力系统遭到黑客攻击，电力中断 3~6 小时，至少 140 万人受到影响。造成这起恶性事故的原因仅仅是工作人员安全意识单薄，运行了黑客发送的伪装邮件中的恶意小程序。这起事件标志着随着电力大数据的应用，电力数据安全已成为能源电力安全的重要组成部分。

目前，国内分布式电源、电动汽车充电桩、智能电表和需求侧响应等终端建设如火如荼，这都增加了电力数据被盗窃、监控和渗透的风险。加强电力数据安全防护提升数据安全技术水平是当下的主旋律。

3 电力大数据的发展趋势

3.1 企业岗位和机构的变化

未来的时代将是 DT（data technology，数据科技）时代。大数据依托云计算，采用分布式结构，利用分布式处理、分布式数据库、云存储和虚拟化技术进行海量电力数据的数据挖掘，而这些必然促使数据管理的专门岗位和部门的设立。随着电力数据日益成为各个企业和社会关注的战略级别资源，数据管理岗位和部门也将成为一个企业的关键。

3.2 数据采集方式的多样化

电力数据已经告别仅仅以重要站点和线路为核心的数据采集时代，现代的电力数据逐渐向以消费者和社会需求为核心的多样化转变，如何在功率、覆盖范

人民邮电出版社出版

围、传输速率和建设成本四者间找寻平衡点，是未来电力大数据长期面临的问题。

传统的光纤传输方式必须依靠传输设备，建设成本高、建设周期长，已经无法满足高速增长的数据覆盖形势；投资少、设备简便的无线传输方式将逐渐承担更多的数据传输任务。未来一段时间无线网络和光纤传输网络的综合使用将在电力行业成为主要的数据传输方式。

3.3 数据泄露风险提高

从电力大数据中挖掘的有效价值已经对电力行业的转型和未来发展规划产生越来越重要的影响，有专家分析，未来大数据将成为企业之间争相抢夺的焦点，3~5 年内数据泄露的可能性将提升至 100%。数据的安全防护工作已经刻不容缓。目前，国网公司已经在各基层单位设置了网络安全专责，全员的网络安全防范教育也在稳步推进，数据的安全防护不是一朝一夕之事，要时刻保持高度警惕，打赢这场看不见的战役。

参考文献：

[1] 田世明, 杨增辉, 时志雄, 等. 智能配用电大数据关键技术研究[J]. 供用电, 2015(8): 12-18.

[2] 范明霞. 大数据技术在电力行业的应用研究[J]. 无线互联科技, 2016(1): 143-144.

[3] 赵云山, 刘焕焕. 大数据技术在电力行业的应用研究[J]. 电信科学, 2014(1): 57-62.

人民邮电出版社出版

电力大数据解决方案

黄超
（中兴通讯股份有限公司，重庆 400040）

摘　要：近几年，随着互联网行业发展风起云涌，“大数据”炙手可热，大数据时代的到来也为电力行业开辟了新路。首先从发展现状出发，分别介绍了国际及国内大数据起源、大数据特征，然后通过分析发展过程中所存在的问题，提出解决方案，并对数据中心、大数据所使用的几种关键技术做了详细说明，最后结合当下的发展趋势，指出在电力行业中的应用前景和发展意义。

关键词：电力大数据；数据中心；关键技术；绿色节能；发展现状

1　引言

大数据作为重要的战略资源已经在全球范围内达成共识。从国家战略发展的方向上，利用大数据促进经济社会转型发展已经成为党和国家领导的共识，国务院已相继出台《中国制造 2025》《国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》等文件，都将大数据作为支撑、引领各行业领域发展水平提升的重要抓手。特别是 2015 年 8 月 31 日，国务院发布《促进大数据发展行动纲要》，部署大数据发展工作，并明确提出，通过推动大数据发展和应用，建立经济运行新机制，构建民生服务新体系，培育产业发展新生态，也预示着我国大数据发展上升到国家战略层面。在数字信息化时代，咨询、科技、服务在带给人类便利的同时，背后隐藏的数字信息资源也进入了快速增长期。据 IDC 统计，2011 年全球数据量已达 1.8 ZB，相当于全世界人均所产生的历史数据量达 200 GB，并且该数字还将以 50%速度逐年递增，在资金投入、数据处理与分析能力等方面均面临着“大数据”的新挑战。

2　电力大数据现状

2.1　电力大数据起源及特征

2009—2010 年大数据成为互联网技术行业的热门词汇，在 2011 年，麦肯锡发布了《海量数据，创新、竞争和提高生成率的下一个新领域》[1]，报告中正式定义了大数据的概念，即指那些超过标准数据库工具软件能够收集、存储、管理和分析的数据集，这一报告的发布也宣布着“大数据时代已经到来”。而国内大数据的实际起步是在 2011 年 12 月，工业和信息化部发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年计划纲要》首次将大数据所包含的几大重要组件作为关键技术创新工程被提出。在 2013 年，各地政府也纷纷探索起大数据建设之路，该年也被称作“大数据元年”。

在电力行业，传统产业的数据系统主要服务企业内部，而随着大数据产业的发展和“互联网+”时代的大背景，全新的发展环境、市场环境、生存环境，势必对企业传统的信息系统提出新的挑战，也促使电力行业发生巨大转变。《中国电力大数据发展白皮书》[2]指出，相比于传统模式的电力生产、计量、管理，新能源的大量接入使之变得日益复杂，发电、输电、变电、配电、用电、调度等各个环节，也面临着更加严峻的安全形势，同时传统的电力供应链在技术时代的驱动下，也将逐步被灵活的数据电力供应链所取代。种种变革的开始也意味着电力大数据迎来新的时代。

电力大数据特征可概括为 3V、3E，3V 指数据量大（volume）、类型繁多（variety）和速度快（velocity），3E 指能量（energy）、交互（exchange）、共情（empathy）。

2.2　电力大数据应用现状

（1）市场规模扩大带来 IT 基础设施挑战

电力行业是国民经济的支撑性行业，行业自动化及信息化的发展累积了海量数据。随着云计算、大数据和物联网技术在电力行业扩大和深化，企业数据中心的数据量也在不断增长，电力行业步入大数据时代。

随着电力行业业务量连续增长，电力行业资产不断加大投入以应对市场需求，在专业生产设备不断投

人民邮电出版社出版

入的同时，物联网软硬件、智能二次设备、海量数据分析工具、高性能服务器等 IT 资产的投入也在迅速扩大。数据中心作为电力数据的有效载体，对电力企业扩大规模、提高生产经营效率、节约社会能源都具有重要的现实意义，同时它的迭代发展也直接关系着电力数据价值的挖掘。

（2）大数据现状

随着智能电网、“三集五大两中心”业务建设的推进，各系统产生了大量的数据。但就目前国内大数据技术运用情况来说，仍存在较大技术阻力，其遍布于大数据分析挖掘的 4 个环节。首先在数据收集方面，采取的技术工具单一，同时对不同来源的数据还需要附着时空标志，做历史数据比对，全方位验证数据真实性和可靠性，剔除干扰数据；对用电数据的采集点位有限，分析时间有限，数据写入方式单一及效率低下。其次是数据存储，当前电网的业务数据主要采用关系型数据库，如 Oracle、DB2、MySQL 等，无法满足当前大量传感器对数据 I/O 的吞吐量要求。第三是数据处理，除传统的结构化数据外，越来越多的日志、表计等半结构化数据以及检测视频、客服音频等非结构化数据无法采用传统的方式进行表述和量化，也无法实现对上述类型数据的检索和混合型数据类型的分析挖掘，当然，数据处理引擎性能的不足也占一部分原因。第四是结果的可视化呈现，主要是基于报表的分析，缺乏高效、多样、创新的深度挖掘和预测性分析，谈不上深层次的数据挖掘。

3 电力大数据关键技术

3.1 模块化机房技术

模块化机房技术是适应云计算、大数据等新技术的发展而产生的，也是为了满足“大数据”时代数据量爆炸式增长导致的 IT 设备数量剧增所带来的对机房硬件设施更高的要求。模块化数据中心是将传统机房的机架、空调、消防、布线、配电、监控、照明等系统集成，解决传统数据中心建设周期长、初始投资巨大、密度低、PUE 值高、运行成本高等问题。

工厂预制化处理，省去了现场的机房装修、架设地板、监控及消防等工程，减少了施工界面和施工时间，缩短了数据中心建设周期，节约运营商时间成本和资金成本。

在结构、制冷、配电、管控等方面，采用先进的技术手段，包括精准送风技术、冷热隔离技术、市电直供技术、高压直流技术、智能运维技术等，实现绿色、节能、环保的目的。冗余设计包括在整个制冷链路上的设计，保证了系统的高可用、高可靠性，契合电力行业高可靠性及良好的故障应对能力。

3.2 大数据平台架构

平台在 Hadoop 大数据基础平台之上，以大数据处理、数据存储、数据呈现为核心路线，同时针对安全性、易用性、容错性进行重大改进，在满足系统整体可靠性、稳定性的前提下，实现能力的多方面提升。平台采用四层架构，在海量数据存储技术平台的基础上，通过将关系型数据库和文件系统中的数据导入大数据挖掘平台，实现数据的导入、清洗、转化、分层的 ETL 流程后，集中存储海量非结构化数据和结构化数据；在存储数据的基础上，提供统一的能力开放接口、数据产品服务能力的封装、基础资源管理的能力。大数据平台系统架构如图 1 所示。

每层详细功能描述如下。

（1）数据采集层

负责从多个数据源采集数据，并对数据进行清洗和转换，把外部系统的数据转换成适合本系统存储和分析的格式，并装载到存储层。提供网络爬虫、Flume、Sqoop/Sqoop2、Hadoop Loader 等组件，可以从多种数据源获取数据。

（2）存储计算层

作为数据的载体，提供海量数据存储及数据访问接口，计算存储层使用离线、内存、实时等多种计算引擎，可提供批量计算和流计算，并通过集成丰富的开源技术组件，采用分布式的多副本机制多节点方式，为大数据平台提供强大的分布式数据存储和计算能力。

（3）分析挖掘工具层

集成丰富的数据挖掘技术和工具，提供多种大数据应用的开发。

（4）服务开放层

提供数据开放平台及数据共享平台，对上层电力应用提供服务，同时可根据需求进行存储计算资源调度、统一接口访问、集中管控和多租户管理。服务开放层（ODPP）是大数据访问中间件，是连接大数据存储/计算层与上层应用的桥梁，通过在上面搭建开发环境和能力工具，可向上层提供统一的数据开放服务，包括数据查询、导入导出、计算任务执行、数据隔离、共享服务、权限管理、计费数据输出等。外部应用通过开放数据服务层提供的开放服务接口，和大数据平台进行数据交互，利用平台提供的基础业务数据和计算能力实现业务需求。

人民邮电出版社出版

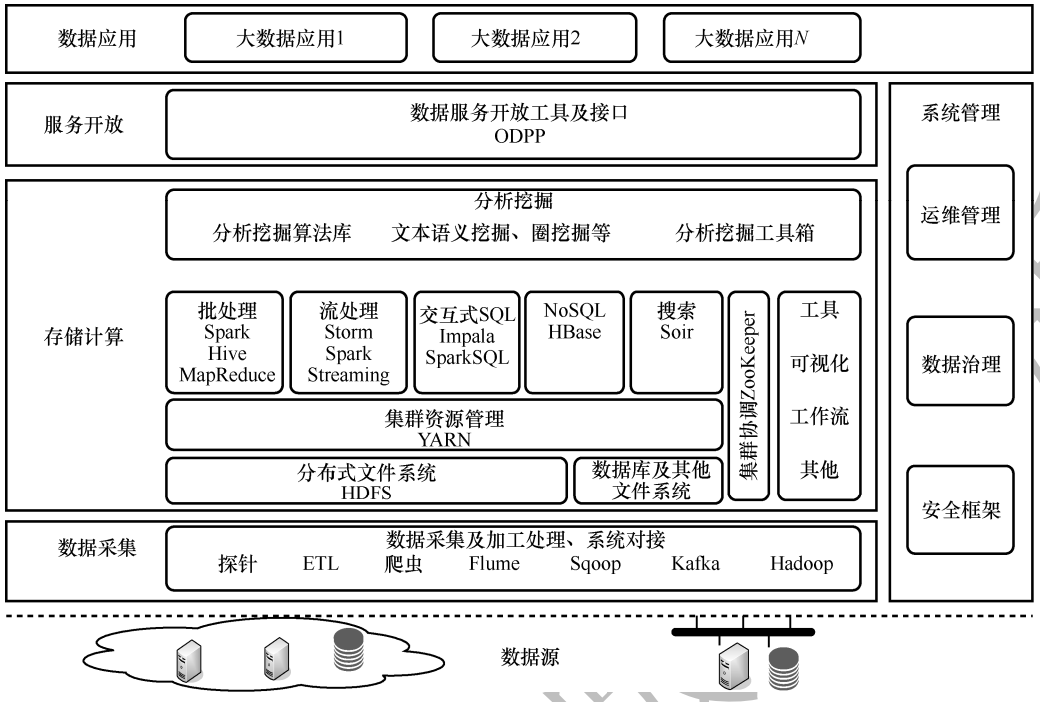


图 1　大数据平台系统架构

（5）数据应用层

根据应用方向和需求，实现业务流程，基于下层提供的服务和能力，解决实际问题。

（6）系统管理

对平台中的各组件进行统一管理，包括监控管理、主机管理、服务管理、告警管理、系统配置管理等，提供专业的安装部署和管理维护能力，提供安全框架及以用户为单位的身份认证和授权，对集群数据资源和服务进行访问控制生成，包括系统用户、应用用户的身份和权限管理、日志管理等。

3.3　大数据多维查询技术

随着 Hadoop 为代表的大数据技术的普及，越来越多的数据被收集、存储起来，并进一步进行各种处理以满足不同的业务分析需求。业界的实践证明，分布式大数据平台可以有效地进行各种批量处理、数据加工甚至挖掘等，为使用和处理大量数据带来了前所未有的便利。但在满足批量数据处理需求的同时却很难让人以交互式的方式在超大规模数据集上进行各种不同维度的快速分析，如 Hive 将 SQL 查询翻译成MapReduce 的方式无法让用户在秒级时间内获得所需要的结果，同时，由于处理时间和方式的差异，分析师也很难在短时间内获得分析结果，从而加大了大数据分析应用难度。

大数据多维查询技术构建多维立方体，将所有的聚合数据操作都放在立方体上进行。同时按照这种机制进行库的定义，并自行建立多维数据库，以多维数据组织方式为核心存放关联关系分析数据，在需要利用多维数据库存储 OLAP 数据时，不需要进行物理模型的转变，该多维数据组直接能够以多维数据模型特征进行体现。OLAP 多维立方体如图 2 所示。

在分析处理查询及结果呈现上，OLAP 引擎可连接多种数据源包括关系数据库、分布式文件系统、分布式数据库，满足数据场景的分析需要，也能够根据维度指标定义及关联关系，提供多维数据的分析查询处理，并在查询过程中能够分别根据上钻、下钻、切片、切块、旋转等操作进行相应的处理。OLAP 引擎提供 ODBC 接口，可实现第三方可视化产品的集成，对于分析查询的结果，能够按照交叉式报表、图形综合展现等方式，提供良好的可视化结果。采用多维分析引擎可提供基于 Hadoop 的 SQL 查询接口及多维分析能力以支持处理 TB 乃至 PB 级别数据的分析任务，能够在亚秒级返回大表查询，并支持高并发。

3.4　大数据智能分析技术

大数据的核心是预测分析，通过精准预测为政府科学决策管理提供依据，通过深入分析能够获取有价值的、智能的信息。

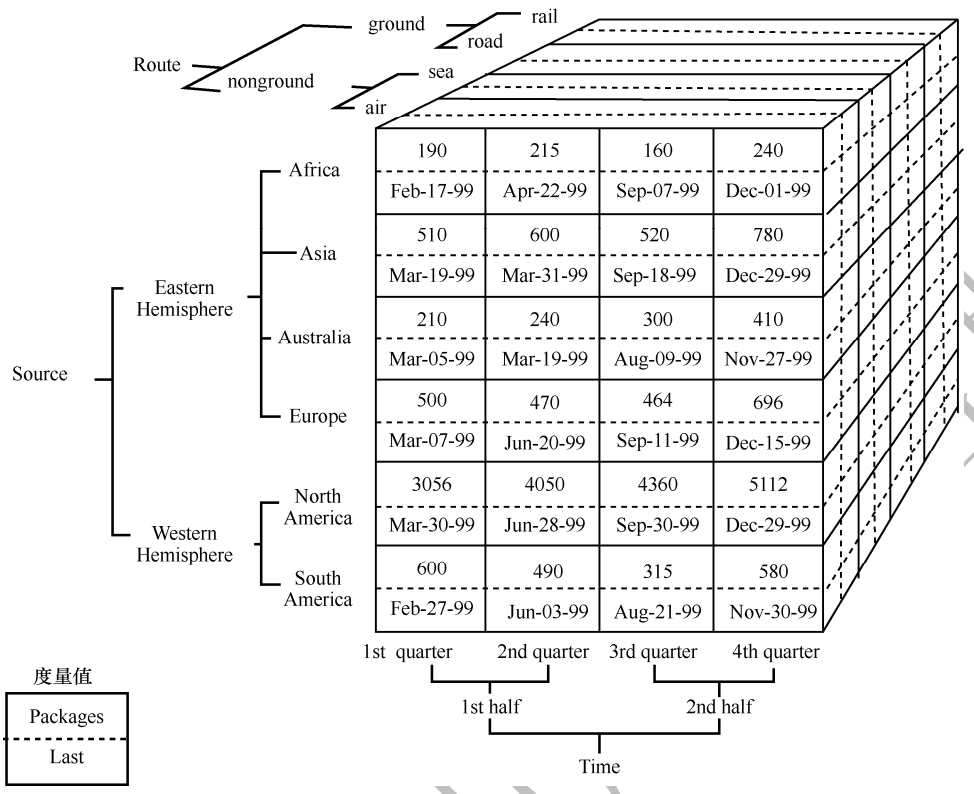


图 2　OLAP 多维立方体

构建大数据智能分析系统，第一步首先需要建设算法库，大数据分析的理论核心就是数据挖掘算法，基于不同的数据类型构建不同的数据挖掘算法模型。

第二步采用智能化分析处理流程，包括 5 个基本步骤。

步骤 1　确定业务：清晰地定义出业务问题。

步骤 2　数据准备

（a）数据选择

针对所要分析挖掘的对象和需求，收集与业务对象相关的所有关联数据，检索出适合该需求的数据。

（b）数据预处理

分析研究所收集数据的质量，做进一步分析准备，并选择需要操作的类型。

（c）数据探索

对数据集进行分析模型转换，匹配对应的挖掘算法，建立适合挖掘算法的分析模型，分析模型的建立，也是挖掘成功的关键。

步骤 3　数据挖掘

在选择合适的挖掘算法的前提下，自动进行转换后数据的挖掘，该过程无需人工干预可自动完成。

（a）统计分析

对预处理后的数据进行多维度的统计分析。

（b）智能建模

对海量多样化数据进行预测模型构建及调整。

（c）机器学习

通过从数据里提取规则或模式把数据转换成信息，从数据中学习分析到规律，反之再用规律对大量数据进行算法模型优化。

步骤 4　数据计算：采用可视化方法解释并评估结果。

步骤 5　知识的同化：将分析所得到的知识运用到业务信息系统的组织结构中。

4　电力大数据发展前景

4.1　电力行业数据价值

麦肯锡的《海量数据，创新、竞争和提高生成率的下一个新领域》中指出，大数据应用在各领域各行业中具有显著的财务价值。在制造业，利用工业大数据提升制造业水平，包括产品故障诊断与预测、分析工艺流程、改进生产工艺优化生产、过程能耗、工业

供应链分析与优化、生产计划与排程；在物流行业，利用大数据优化物流网络，提高物流效率，降低物流成本；在电信行业，利用大数据技术实现客户离网分析，及时掌握客户离网倾向，出台客户挽留措施；在生物医学领域，大数据可以实现流行病预测、智慧医疗、健康管理，同时还可以解读 DNA，了解更多的生命奥秘；在金融行业，大数据在高频交易、社交情绪分析和信贷风险分析三大金融创新领域发挥重大作用；在实际生活中，企业每天面对百万的消费贷款订单需求，需要以“秒”级时间来回应客户，没有办法用人为干预的判断方法，因为时间长、成本高、量大，必须要用大数据来服务客户。

作为连接千家万户的中国电力行业，其所产生的数据价值更加宝贵，电力数据以其广大的用电客户基础，可实现对用户的精准定位和消费分析；电力数据以其对国家基础经济的重要地位，可实现对各地区经济的形式的预测分析；电力数据以其同电力生产的紧密关系，可实现辅助电力设施设计和电力生产，并更有效地利用电力数据提供高价值的增值服务。

4.2 实现企业自身效率的提升

在基础设施建设方面，随着电力规模的扩大，大数据技术能够解决系统数据存储、处理的瓶颈问题，通过对现场基建建设情况的全过程监管、分析，能够有效提升管理水平，减少资源的浪费。

在能源系统方面，挖掘、获取并且有效地应用大数据，可以推进智能电网的发展和转型，并且对于分布式可再生发电的资源，大数据有助于其预报和调度的实现，进而提高了电力行业的发电效率。

在行业管理运营中，大数据帮助分析顾客需求，极好地改变了客户模式，为行业和用户都提供了方便并节省了能源。

为契合“十八大”提出的“推动信息化和工业化深度融合”理念，电力业界中的各大企业正逐步趋于一体化发展，而从本质上来说，就是大数据中的数据挖掘、数据获取、数据分析以及数据集成等，这些数据系统框架、集成方式或者应用技术是实现电力大数据一体化的关键所在。

5 结束语

大数据时代的来临，给各行各业提供了新的发展机遇，电商、互联网、互联网金融等朝阳产业的高速发展，已逐步体现出有别于传统产业的巨大潜力和创新之道，而在这成功的背后，大数据起着至关重要的作用。电力行业也在上演着一场全新模式与价值的巨大变革，为我国智能电网、能源互联网的演进和发展提供新的解决方案，通过良好的数据管理，并运用数据挖掘手段实施大数据战略，将切实提高电力生产、营销以及电网运维等各方面生产管理水平，同时也助力我国电网企业冲击国际顶尖水平。可以预见，在大数据蓬勃发展的时代，大数据势必成为各行业各产业风口，也让它更好地服务于电力行业发展和广大电力用户，对电力的持续发展具有重大意义。

参考文献：

[1] McKinsey Global Institute. Big data: the next frontier for innovation, competition, and productivity[R]. 2011.

[2] 中国电机工程学会信息化专委会. 中国电力大数据发展白皮书[R]. 2013.

人民邮电出版社出版

电力二次设备高性能主控芯片的设计与应用

张济[1,2]，周芝梅[1,2]，冯曦[1,2]，胡毅[1,2]，唐晓柯[1,2]

（1. 北京智芯微电子科技有限公司国家电网公司重点实验室电力芯片设计分析实验室，北京 100192；
2. 北京智芯微电子科技有限公司北京市电力高可靠性集成电路设计工程技术研究中心，北京 100192）

摘　要：在分析电力二次设备对主控芯片的技术要求的基础上，针对目前国内 MCU 芯片普遍存在的问题，设计出一种高速、高效、多接口的电力通用高性能主控芯片。详述了该芯片的结构及其关键技术，并描述了在电力二次回路中的应用场景。

关键词：高性能通用 MCU；电力二次设备系统；应用场景

1　引言

在电力行业和工业控制领域，高性能通用的主控芯片广泛应用在回路巡检仪、故障指示器等电力二次系统应用领域，完成低频或者直流信号的数据采集分析、实时控制等功能。在上述诸类应用中，芯片对由功耗产生的电流需求和发热仍有比较严格的限制。同时，由于通常作为采集或监控设备的中枢，对接口的丰富程度、数据采集能力、数据分析处理能力要求比较高。监测与控制设备的主控芯片研发是智能电网建设的核心应用技术之一，但大量使用国外厂商的高性能、通用的 SOC 主控芯片，给国家电力系统的安全留下较大隐患。因此有必要开展针对电力系统的高性能通用主控芯片研发及其应用开发，满足电力二次系统的需求，加速电力行业主控芯片的国产化进程，保障电力二次系统安全稳定运行。本项目中监测与控制设备的主控芯片，集成了高速 CPU 和高精度数模转换电路，并带有丰富的接口功能，可以广泛应用于集中器、回路故障巡检仪等电力行业应用领域，也可以用于其他设备的智能控制。

2　系统分析

电力二次设备是对电力系统内一次设备进行监察、测量、保护、调节的辅助设备，包括保证电力系统安全可靠运行的继电保护装置、安全自动装置、调度自动化系统和电力通信等相应的辅助系统。由二次设备相互连接，构成对一次设备进行检测、控制、调节和保护的电气回路称为二次回路。CT 二次回路是把一次大电流变换成二次小电流的回路。如图 1 所示，CT 二次回路模块主要由三相注入单元、三相自激振荡单元、三相工频电流单元、分时切换单元、带通滤波单元、低通滤波单元、信号调理单元、参考电源、EEPROM 单元和 ESAM 单元组成。CT 二次回路监测终端基于异频、阻抗监测等高精度回路状态监测方法有效识别 CT 二次回路状态，包括回路正常、开路、CT 端子短路、电能表电流采样异常和回路串接半导体元件等状态，并支持回路状态事件实时上传。可实现对 CT 二次回路接线错误、回路故障的实时在线监测，可对现场故障排查、窃电行为稽查做出有效指导。

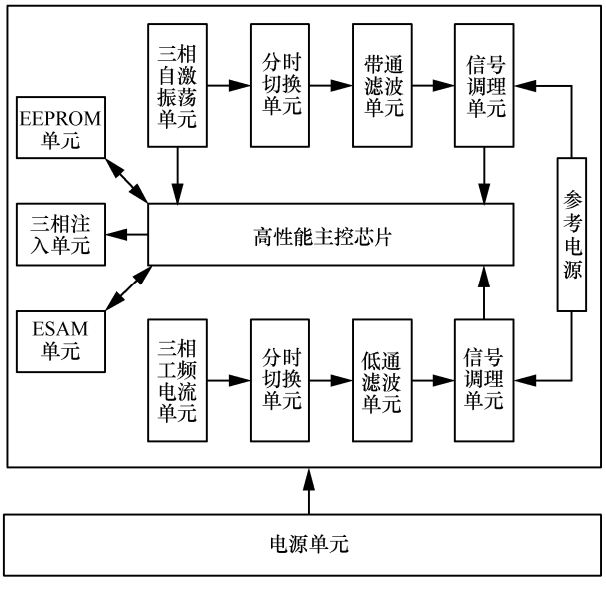


图 1　CT 二次回路模块

3 芯片设计

针对 CT 二次回路对运算能力和接口要求较高的特点，在芯片设计时须同时考虑高速 CPU 运算和总线多接口的需要。

3.1 芯片结构

主控芯片主要由中央处理器（CPU）、指令缓存（cache）、片上存储器、RTC 功能、时钟产生、复位产生、通信接口模块、DMA、看门狗/定时器等组成。芯片整体结构如图 2 所示，采用二级 AMBA 总线架构：一级为 32 bit 高性能 AHB 总线；二级为 32 bit 低速 APB 外设总线。

AHB 总线是一个矩阵式结构，总线的主设备包括 CPU 核、系统 DMA、GMAC 接口模块和 USB OTG 接口模块；从设备包括 SRAM、BootROM、Flash 控制器、系统 DMA、配置接口以及 AHB2APB 桥等。

APB 为慢速外设总线，包括速度要求不高的外设：定时器（Timer）、串口 UART、I2C 控制器、GPIO 模块、PWM 模块、系统控制单元 SCU、系统时钟单元 CMU、系统复位单元 RMU、SPI 控制器、看门狗 WDT、ADC 控制器等。APB 上的各种接口设备都支持 DMA 模式。

芯片上电后，CPU 从 Flash 或者 ROM 中取指令后运行，然后通过 AHB 或 APB 总线将指令传达给各个外设，所有的外设通信可由 CPU 直接控制，完成相应的操作；DMA 负责大容量通信数据的搬移工作，不需要 CPU 参与，可以直接实现内存到通信接口的数据传输工作，提高芯片的工作效率。AHB2APB 桥划分出两个相互独立的区域，可满足分属两个 APB 桥的外设之间的 DMA 搬移需求。

3.2 关键技术

电力二次回路系统中主控芯片面临的主要问题是运算量大、应用场景要求接口丰富，为此芯片在多方面进行了专门的设计。

在处理器内核方面，选择基于 ARM 的 Cortex-M 系列的 32 bit 内核，它配备有指令、数据、外设 3 条

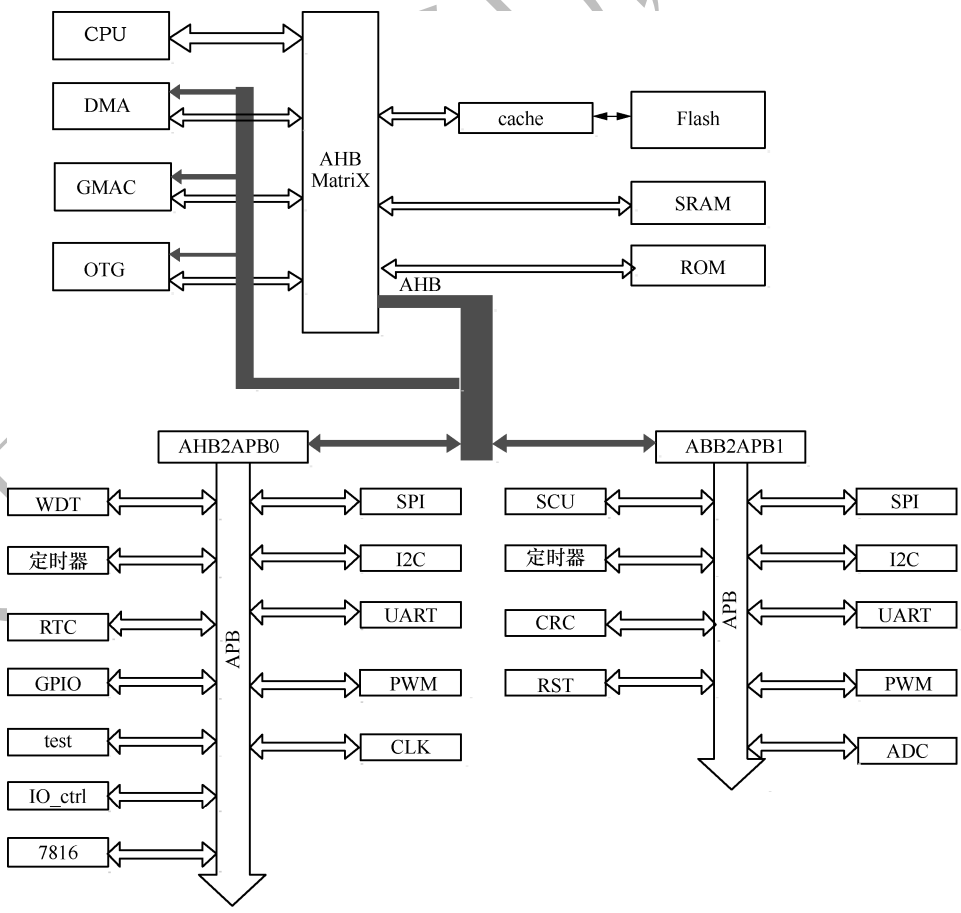


图 2 芯片整体结构

总线的哈佛结构，以实现高效高速的数据搬移和计算。CPU 采用三级流水线结构，采用 16 bit 和 32 bit 混合指令集，支持 SIMD 和 DSP 指令，支持浮点运算功能。为进一步提升 CPU 的指令、数据取址速度，片上还集成可配置的 cache 控制器，可动态配置 cacheline、cacheway 等参数，使得代码执行效率达到最优。

系统时钟方面，芯片 CPU 和总线之间采用同步设计，但支持整数倍频关系，通过时钟使能信号来控制，在芯片初始化时性能瓶颈在外设，CPU 和总线同频，在正常工作时，可根据应用需求来设置，达到性能和功耗之间的平衡。片上集成高速 PLL，其参考时钟 12 MHz，输出 150 MHz 时钟作为 ARM 和总线的主时钟。在没有参考时钟的应用下，芯片还集成有高精度的片上 HOSC，输出 60 MHz 时钟作为系统时钟。在低功耗模式下，系统时钟可选择片上 LOSC 100 kHz 时钟，以降低系统动态功耗。根据不同应用对速度和功耗的需求，AHB 时钟可降频使用，最低可配置为 8 分频，APB 时钟也可灵活配置为系统时钟的 2 分频或者 4 分频。

ADC 是工业用主控芯片的标准配置，片上 ADC 的精度在 12 bit，主要用来进行低频或者直流信号的精确测量，完成诸如主电源电压监测、备份电池电压检测等功能。ADC 的设计重点主要是在低电压工作下精度和面积的折中考虑，重点研究低电压模拟开关、运算放大器、比较器等基本单元的电路结构，采用低阈值晶体管来进行开关、功率器件设计思路，使 ADC 在 2.2 V 下能够保证 12 bit 以上有效精度的同时尽量减少芯片的面积。

接口部分，本芯片集成有 9 种不同的接口类型。两个高速 GMAC 接口，通过外接的 PHY，与外部进行 10/100 Mbit/s 的数据传输，支持全双工和半双工操作，支持检测接收到帧的 IEEE 802.1Q VLAN 标签。一个高速 USB 接口支持 OTG 功能，HS/FS/LS 3 种速率模式支持控制传输、批量传输和中断传输，除控制传输外，可最多配置 3 个双向 USB 端点。低速外设接口通信方面，可支持多个 SPI、I2C 接口、PWM 接口、7816 接口、UART 接口以及 GPIO 接口，这些接口可满足通用性主控芯片的正常通信需求。

4 芯片应用

针对电力二次回路中控制环境的不同需求，可以基于该芯片进行集中器、配电回路巡检仪、故障指示器以及电力物联网传感器节点等终端设备的研发工作。

在运行管理方面，通过人工录入或系统交互等手段，建立完备的电力设备基础信息，实现一、二次设备运行、操作、检修、维护工作的规范化。

在运行监视方面，通过可视化技术，实现对电网运行信息，保护信息，一、二次设备运行状态等信息的运行监视和综合展示。

5 结束语

基于电力二次设备应用的高性能 MCU 芯片已经完成了流片验证并投入了样品试用。结果表明，芯片在 CPU 运算能力、接口多样性和功耗方面性能突出，这对促进电力二次系统的建设、保障电力二次系统安全稳定运行有着重要的参考意义。

参考文献：

[1] ARM. Cortex-M4 integration and implementation manual[R]. 2010.
[2] 国家电网公司. 配电网建设改造行动计划(2015-2020 年) [R]. 2016.

人民邮电出版社出版

电力行业身份认证与数据保护融合技术架构体系

王栋[1,2,3]，陈智雨[4]，贺金红[1,2,3]，闫珺路[4]

（1. 国网电子商务有限公司，北京 100053；2. 国网雄安金融科技集团有限公司，河北 雄安 071800；3. 国家电网电力金融与电子商务实验室，北京 100053；4.国家电网有限公司信息通信分公司，北京 100761）

摘　要：为提升能源互联网环境下电力全业务各环节网络安全保障能力，综合运用国产密码算法，采用多因素强身份认证、区块链协同以及加解密服务云等融合技术提升电力企业网络安全可靠性。首先分析了安全威胁及应对思路，其次构建了电力云安全防护融合技术体系，实现了电力云环境下各环节数据流通的高安全等级保护。

关键词：能源互联网；网络安全；身份认证；数据保护；国产密码

1　引言

数字经济的发展推动了数字产业化和产业数字化，促进了新一代信息基础设施的建设，形成了自主可控、安全可信的新产业、新业态、新模式，推动互联网、大数据、人工智能和实体经济的深度融合，释放数字对经济发展的倍增作用。然而，网络环境的不断恶化，安全威胁日益增多，信息泄露、网络欺诈以及数据窃听等案件屡禁不止，数字经济安全面临严峻挑战[1-2]。

随着能源互联网战略的逐步实施，各节点每时每刻都在产生海量数据，通过数据集成、数据挖掘和业务应用可以带来巨大的社会价值，能源互联网大数据成为重要资产。在以数据为关键要素的数字经济时代，能源互联网大数据应用将日趋丰富，为能源供应商/贸易商、设施运营商、用户等提供高效的企业运营服务。电力网络作为国家关键信息基础设施，系统平台存在多业务、多数据、多用户以及多交互的特点，在数据的收集、传输、存储和使用等环节面临严峻的安全形势[3]。随着电力企业数字化办公的推进，企业营销、电子商务、金融科技等业务交易形成了大量电子化的业务数据和交易数据，涉及众多的企业敏感信息和个人隐私数据。考虑到业务链条上各应用系统间敏感数据存储和流转频繁，涉及用户隐私或系统安全，一旦数据泄露或遭到入侵，将造成无法挽回的后果。

根据“木桶理论”，任意一点的安全短板将成为整个系统安全的威胁，数据安全防护更应该从被动防御转为主动保护。随着移动互联网的普及，智能终端已经成为业务数据交互的重要手段，应用安全已成为诸多网络安全事件的源头。考虑到移动终节点的特殊性，传统的安全防护手段难以覆盖数据产生、传输、存储、分析等全生命周期的安全管理环节，数据安全和隐私保护日趋严峻。因此，电力网络的复杂多样性对于身份认证和数据保护有着更高的要求，并且缺乏有效的能够覆盖全生命周期数据安全的保护措施，亟需设计完善的基于密码技术的数据安全保护体系，实现业务数据全链条安全交互。

2　安全威胁分析与应对思路

能源互联网通过借鉴信息互联网开放、泛在、互动的特征，以电力网络泛在互联为基础，在能源开发、配置、消费和生产生活各环节带来革新，具有网架坚强、广泛互联、高度智能、开放互动的特征。其安全性包括机密性、完整性、可用性、认证性、授权性、不可抵赖性和可审计性等方面，融合了多种物理系统和信息网络，不同于传统的电力信息化特征，面临严苛的需求和挑战。电力网是工控网、互联网和物联网的融合。工控网主要特点有网间互联性、交互可操作性、连接开放性、信息真实性和即时性。互联网具有信息即时性、数据海量性、覆盖全球性、互动多向性等特点。物联网是利用各种感知技术建立在互联网上的泛在网络，具有智能处理能力，能够对设备实施智能控制。为确保电力业务的安全稳定运行，在网络身份认证、信息可信交互和数据窃取等方面有着很高的安全等级。

人民邮电出版社出版

2.1 电力行业网络安全威胁

由于网络边界越来越模糊，现有电力信息系统的管理制度、业务体系、运维水平、安全防护等方面依然存在不足，致使业务流转存在一定的安全隐患。考虑到企业运营过程中，虚假交易、假冒行为、合同诈骗、侵犯消费者合法权益等各种违法违规行为屡屡发生，业务端的可信操作、身份合法性等方面存在一定的安全风险，主要体现在：信息交互双方的身份确认；信息在线传输的保密性；信息防篡改；可有效取证，防止违约抵赖。图 1 展示了网络环境中存在的安全隐患。

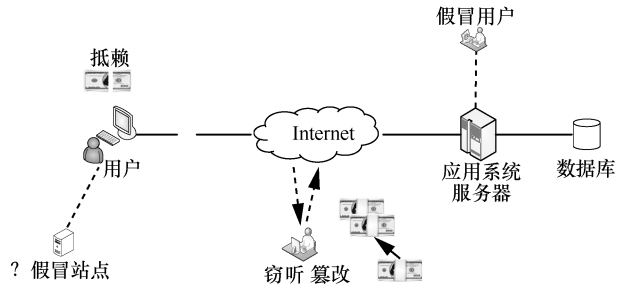


图 1　网络环境中存在的安全隐患

2.2 基于密码技术的防护新思路

近年来，国家大力发展国产密码技术，我国已形成技术体系完备的密码算法型号，密码技术是信息系统的核心免疫系统，可广泛应用于网络实体的身份标识、身份验证与证明、身份鉴别和授权管理等方面，可有效确保网络传递信息的真实性、完整性、机密性和不可否认性[4]。密码技术可有效解决以下安全问题。

- 利用基于密码技术的身份鉴别、信任管理、访问控制、数据加密、可信计算、密文计算、数据脱敏等措施，实现数据产生、传输、存储、处理、分析、使用等全生命周期安全管理。
- 采用密码打通数据融通的信任瓶颈，实现信息资源开放共享，构建真实不可抵赖的“数字契约”，为数据资源确权、开放、流通、交易提供信任基础，进而助力疏通数据融通的信任障碍。
- 利用密码技术和数据标识、数字签名、网络身份的结合，在确保数据安全有序流动的同时，为数据溯源、行为追踪、隐私保护提供有效支撑，完善监督保障体系建设提供技术手段。

3 电力云安全防护融合技术体系

随着业务从孤立服务器转移到电力云，在线业务的数据安全隐患问题越来越突出。云计算环境下，物理的网络安全边界逐步消失，取而代之的是逻辑的网络安全边界，传统安全防护网关部署方式已不适用，本文对云环境下数据交互链的安全性进行了分析，提出了从系统接入认证、数据精准保护到数据不可抵赖等体系化的安全防护架构，如图 2 所示。

3.1 电力云 CA 认证

云安全技术主要分为身份安全、数据安全和设备安全，包括证书生产、证书验证、设备资源、数据加密等部件的安全，是实现云电子认证服务的基础。本文建议构建云环境下的 CA 中心，建设以身份认证、统一用户管理及数字签名等应用为核心的安全体系，提供身份认证、数据安全传输及访问控制管理等机制形成电子认证云平台，进而解决云环境下面临的安全问题[6]。

通过云环境下的 CA 中心利用多因素强认证机制对接入用户进行身份证，判别接入用户对资源的使用权利和范围，加强业务操作的合法性确认。通过将身份认证与云计算相结合，实现用户与不同云服务和业务系统间的一体化身份认证与资源授权[7-8]。云服务的快捷、便利、开放性对移动应用的安全性有很大的促进作用，通过利用在线的云 CA 服务，实现移动终端数据传输的合法性，可有效提升移动作业的工作效率。

身份认证基于 CA 中心产生的非对称密钥的公私钥加解密机制来实现接入用户的合法性判断。考虑到在传统 PKI 环境中，公钥经过 CA 签名后对外公开，私钥通常采用线下物理介质的形式发送给指定的用户和系统来保证分发的安全性。线下分发的模式难以保证私钥的更新频率，严重影响了业务交易的安全等级。随着国产密码算法的大力推广，利用国产密码算法加密私钥，可实现理论上绝对安全的私钥在线传输；同时电力信息系统中国产密码算法正逐步应用，方案无需对现有电力网络的认证机制进行大的改造，适应性良好，将有效提升电子认证的运行效率。新的云安全防护体系具有以下特征。

- 形成了资源统一调度、基础设施一体化管理的运行模式，有效提升电子认证系统的运行效率。
- 搭建了认证服务中间件架构，实现多用户中心异构系统统一集成、安全可信的电子认证环境。
- 加强敏感数据和隐私数据的安全存储技术，解决数据完整性验证和真实性的问题，实现数据安全存储云服务。

人民邮电出版社出版

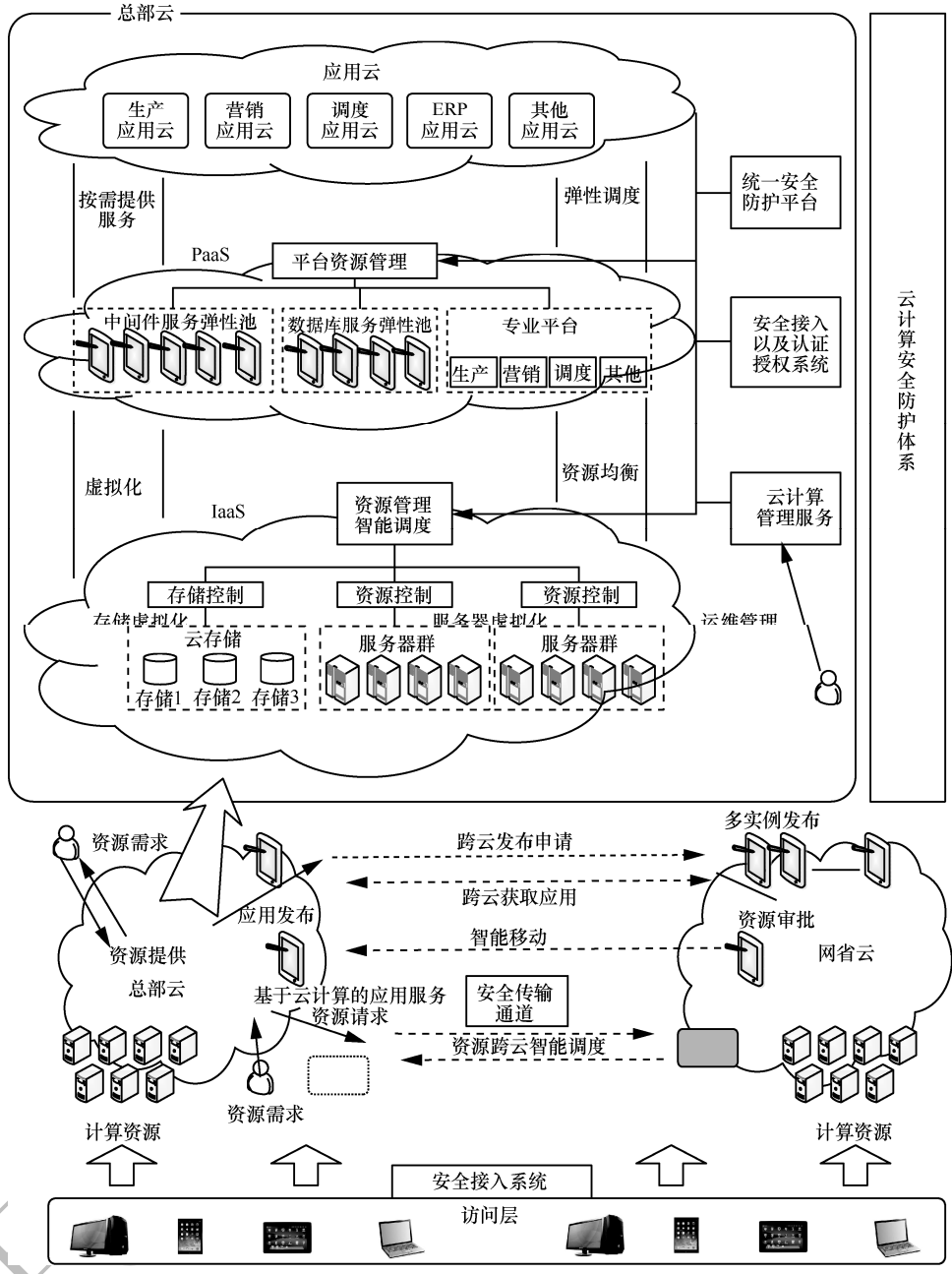


图 2　电力安全防护融合技术云架构

- 构建第三方证据溯源体系，实现多 CA 接入，提供行业内安全统一的运行集成环境。

3.2　加解密服务云

数字经济与网络空间交织并存，以数据资源为核心要素，以信息技术为变革动力，以数据融合为主要方式的典型特征。密码作为网络空间安全的核心技术与基础支撑，具有不可替代的重要作用。数字经济的发展离不开密码与信息技术协同创新机制的支撑，加强密码在网络信任、网络治理、互联网应用、云服务、移动终端、公民隐私和数字资产保护中的应用，构建国家关键基础信息密码支撑体系。

国家层面《网络安全法》《密码法（草案）》《电子商务法（草案）》的颁布，标志着网络安全的要求越来越高，对于网络安全技术国产化的需求也日益迫切。为了进一步提升数据保护的安全级别，本文结合国产密码技术和云计算技术构建密码加解密服务云平台，搭建基于国密算法的密码服务云平台，为业务数据的保护提供可信密钥，形成 SaaS 模式的加解密应用

架构，极大地提升了数据的安全级别[9]。

图 3 展示了基于 SaaS 模式的加解密服务云平台，为云环境下全链条的数据安全保护提供安全密钥，具体流程如下：

- 网省云应用系统通过中间件调用密码服务平台的安全服务；
- 密码服务平台向密码生成装置申请密钥；
- 由总部云设备生成算法密钥，再采用密码网关生成的密钥对其进行加密；
- 网省云密码服务云平台获取到加密后的算法密钥信息后，通过密钥解密得到算法密钥；
- 通过解密后的信息进行加解密、签名验签等密码服务。

3.3 基于区块链协同的数据信任交互

电力行业紧密围绕能源互联网战略，大力推进“互联网+”转型，电子商务、金融科技、电动汽车、综合能源等业务得到快速发展，电力企业供应链快速变化和延伸，涵盖了制造商、服务商、渠道商、金融机构、监管机构、客户用户等节点[10]。考虑到供应链管理难度进一步加大，协同效率面临诸多制约，主要表现为数据孤岛问题、数据信任问题和履约保障问题。

随着供应链金融的发展，形成了多主体参与、信息不对称、信用机制不完善、信用标的非标准的场景。供应链中有多层供应和销售关系，但核心企业的信用往往只能覆盖到直接与其有贸易往来的一级供应商和一级经销商，无法传递到更需要金融服务的上下游两端的中小企业[11]。考虑到这种模式与区块链技术有天然的契合性，作为一种分布式账本，为各参与方提供了平等协作的平台，降低机构间信用协作风险和成本，具有去中心化、开放性、防篡改性、自治性的特点。区块链的搭建，能够打通各层之间的交易关系，从而实现对与核心企业没有直接交易远端企业的信用传递，将其纳入供应链的服务范畴。

基于区块链技术的企业供应链协同了上下游各企业完成交易，多方的协同工作促进产业生态链向更真实、更透明和更智能的方向发展，解决了面临的数

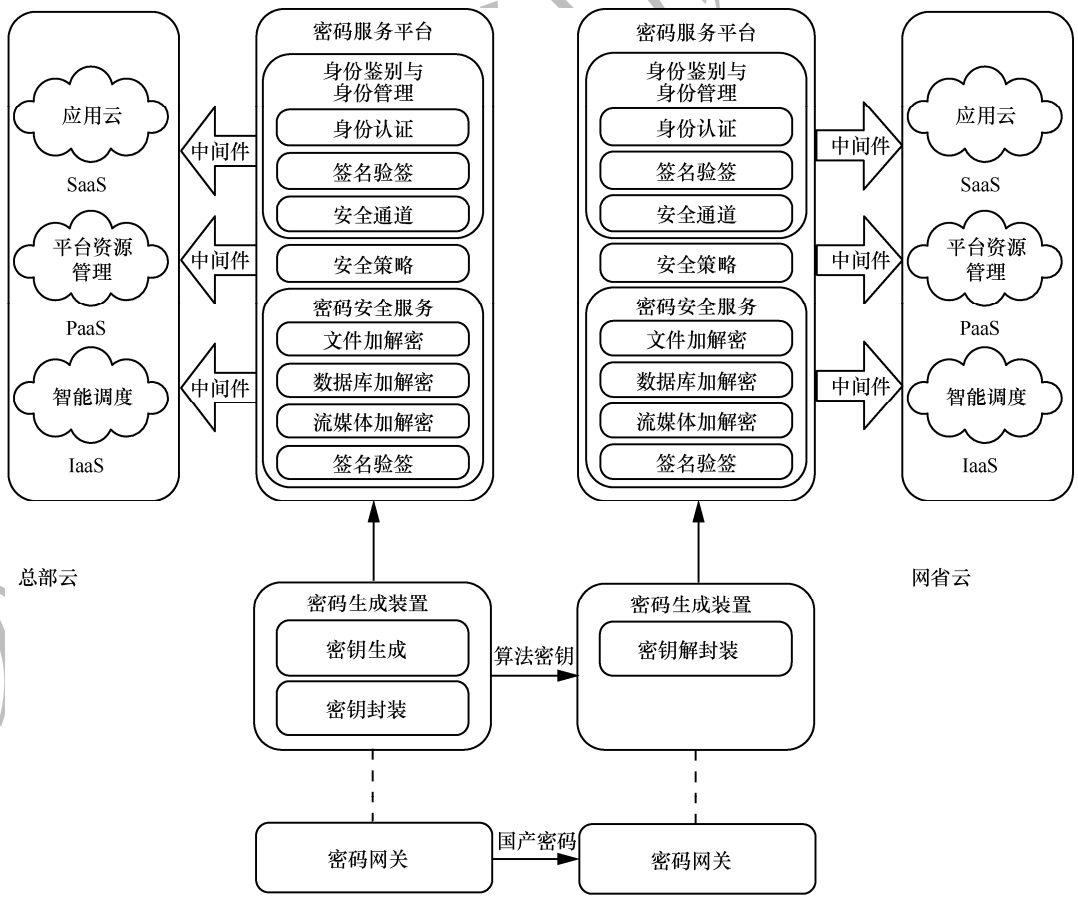


图 3　基于国产密码算法的 SaaS 模式密码服务云

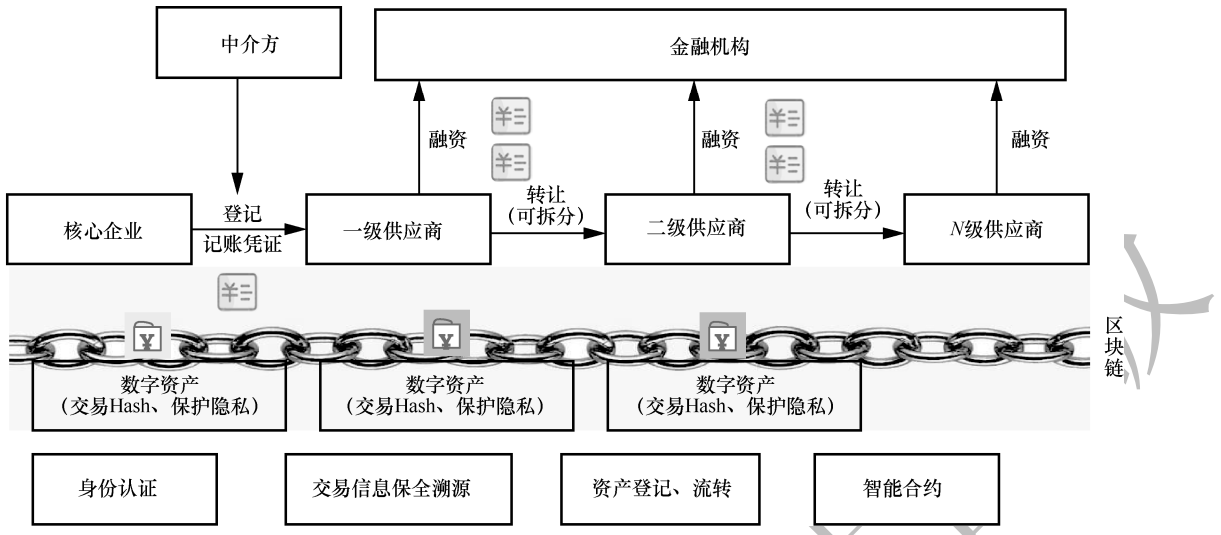


图 4　基于区块链的数据信任传递

字身份、数据资产等私有数据的互联互通与可信共享、有序协同等问题。区块链技术的协同性保障了企业合约能够按照约定公正地、无干扰地自动执行。同时，资产数字化使资产价值具备了可确权、可传递和可拆分等特点，有效提高了数字资产的流动性。因为所有的交易都是生态链上各方共同参与完成，各方都具有完整的交易信息，所以可以保证合同和订单等信息的真实性，并且基于密码学的机制确保了交易无法抵赖和破坏。区块链技术的应用，对于交易流程中的各节点的身份认证有着严格的要求，可以解决参与方的身份真实性问题。图 4 展示了基于区块链的数据信任传递。

4　结束语

随着公众信息安全意识的提高，对数据安全和隐私保护的要求越来越高，从国家层面《网络安全法》《密码法（草案）》《电子商务法（草案）》的颁布到国际层面欧盟 GDPR 的实施，代表着对加强数据安全和隐私保护的呼声。在新的网络安全环境和监管要求下，仅仅依靠单一的网络安全技术难以解决能源互联网面临的安全威胁。本文融合 CA 认证、加/解密密码服务云、区块链协同等技术，构建了电力行业身份认证和数据保护新架构，保障了业务终端到云服务端的接入认证和业务全链条数据传输和信任的安全性，实现了电力云环境下各环节数据流通的高安全等级保护。

参考文献：

[1] 霍炜. 在新的历史起点上推动商用密码创新发展[J]. 信息安全与通信保密, 2018(5): 13-18.

[2] 陈梅. 商用密码技术在电力行业中的应用研究[J]. 信息安全与通信保密, 2018(5): 50-56.

[3] 白静芬,林繁涛,徐英辉, 等. 新一代智能变电站数字化计量系统[J]. 电测与仪表, 2017, 54(17): 40-45,52.

[4] 杨品林. 电子商务平台身份认证算法的设计与实现[J]. 现代电子技术, 2017, 40(23): 155-157,161.

[5] 荆继武, 刘丽敏. 电子认证走进 2.0 时代[J]. 信息安全研究, 2017, 3(6): 573-576.

[6] 沈亮, 王栋, 玄佳兴. 电力信息系统云安全风险分析与评估技术[J]. 电信科学, 2018, (2): 153-160.

[7] 张瑞, 舒虹. 云环境下公钥基础设施的一次性口令身份认证系统设计[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(32): 143-147.

[8] 卜质琼, 郑波尽. 一种开放式电子政务身份认证模型的研究[J]. 控制工程, 2017, 24(6): 1230-1236.

[9] LI G, WANG D, CAO C, et al. Research on the fusion architecture and application mode of quantum cryptography and classic Cryptography[C]//International Conference on E-Society, E-Education and E-Technology. ACM, 2017:28-32.

[10] 张衍斌. 以区块链技术构建中欧跨境电子商务生态圈[J].中国流通经济, 2018, (2): 66-72.

[11] 田海博, 何杰杰, 付利青. 基于公开区块链的隐私保护公平合同签署协议[J]. 密码学报, 2017, 4(2): 187-198.

电力企业供应链统一服务平台应用建设探析

刘佳宁，凌传干，王磊
（鼎信信息科技有限责任公司，广东 广州 510700）

摘 要：供应链统一服务平台作为供应链外部用户的统一协同窗口，对电力企业供应链有重要意义，通过对外部供应商协同、物流商协同、回收商协同、外部专家引入等提高整体的资源配置效率，加强物资采购管理能力，降低制度性交易成本。电力企业现有系统普遍对业务外部协同能力不强，与外部供应商等外部用户相关业务的协同较弱，数据集成与共享不强，并且存在缺乏统一业务入口、权限管理不完善等方面的局限性。建设供应链统一服务平台，纳入外部供应商、物流商、回收商、外部专家等多个供应链参与方，利用微服务技术框架、云平台、DevOps及移动应用等新型技术实现供应链两端延伸，促进双方共同提高抵御市场风险能力，提升供应链整体效率。

关键词：电力企业；供应链统一服务平台；供应商管理；供应链外部协同

1 引言

供应链管理的终极目标是创造价值，最高境界是内外协同。供应链管理就是要站在客户的角度，通过端到端的协同，为客户和企业创造价值。目前，电力企业已基本实现供应链的内部协同，但通过外部协同减少“牛鞭效应”，提升供应链整体能力，仍是电力企业迫切需要解决的一个问题。

供应链统一服务平台作为外部协同窗口，是多方合作共赢的平台生态圈，为外部资源进行业务协同提供服务的统一平台，包括供应商协同、物流商协同、外部专家引入等服务。该平台重点解决外部资源账号管理、业务协同、对外集成等主要问题，促进电力企业与外部资源共同提高抵御市场风险能力，避免重复化操作及流程混乱，提升供应链整体效率。本文将深入分析供应链统一服务平台的典型应用，从电网企业供应链统一服务平台的产生原因、现状分析和设计规划 3 个方面进行探讨。

2 产生原因

对电力企业来说，将外部供应商、物流商、回收商等参与方纳入企业的整体供应链发展规划和采购策略中，有助于推动供应链全面互联互通，实现与内外部用户协同合作和供应链整体优化。供应链统一服务平台整体架构如图 1 所示。

目前，电力企业普遍现有系统对业务内外协同能力不强，与外部供应商等外部用户相关写业务的协同较弱，数据集成与共享不强，并且存在 3 方面的局限性[1]：一是缺乏统一业务入口，现有系统没有支持外部用户在供应链端到端的全业务流程的统一入口，很多业务仍在线下完成，操作较繁琐，成本较高；二是权限管理有待完善，外部用户分散在不同的系统中进行业务流程操作。若内外部用户均需在现有系统上进行业务流程操作，有一定的管理难度；三是功能扩展相对复杂，现有系统不易满足功能需求和创新业务的及时推出和更新[2]。现有业务系统在对外协同业务上有一定的局限性，无法支撑对外部用户进行统一管理，因此，尽快构建涵盖供应链全业务流程的业务协同、共享、集成互动平台显得尤为重要和迫切。

供应链统一服务平台将利用大数据分析、云平台技术、移动应用技术等技术实现供应链两端延伸，贯穿电力企业内部管理系统，实现采购、合同、履约、物流等业务协同，促进供应链多方共同提高抵御市场风险能力，提升供应链整体效率[3]。通过供应链统一服务平台，达到以下目标。

（1）统一业务入口

作为供应链统一管理入口，实现对供应商、物流商、回收商、外部专家等供应链参与者登记注册、资质评估、履约评价、运行评价的信息归集和应用等功能，实现从需求、采购、合同及付款、履约运行、废旧物资竞价等全生命周期的追溯。

人民邮电出版社出版

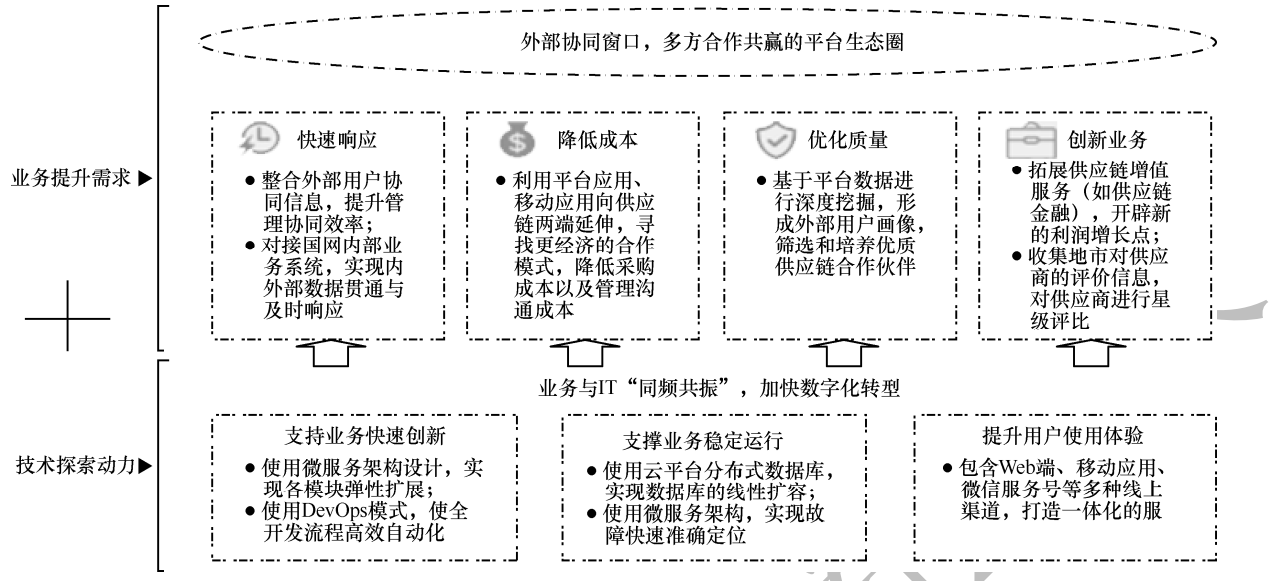


图 1　供应链统一服务平台整体架构

（2）统一权限管理

搭建供应链外部用户统一权限管理体系，明确外部用户的授权和鉴权管理机制，实现用户角色、权限、数据的科学管理，在适应业务灵活性、保证系统性能的同时，避免信息安全风险。

（3）创新技术路线

探索新型技术路线，搭建以微服务为中心的低耦合、高扩展的现代化自开发应用技术架构，充分利用 DevOps 和云平台的整合能力，实现与业务的同频共振，推进供应链管理全过程的数字化建设，保障平台运行的稳定性和高效性。

3　应用现状

3.1　业务现状

通过对电力企业内部物资供应体系的调研发现，目前大多数电力企业已经实现了供应商、外部专家的基本协同功能，但是仍存在以下 4 个方面的问题。

用户方面：现有电力企业业务系统对外部用户的管理是分散的，且存在缺失，导致业务人员无法进行外部用户的统一管理，无法获取外部用户的完整信息；供应商只有一个账号，外部专家使用 4A 临时账号进行评标，并没有功能权限上的区分，因此具有一定的安全风险。

功能方面：目前电力企业的对外业务功能分散在不同的业务系统中，不利于管理和数据汇集；现有电力企业系统中没有品控管理功能、废旧物资拍卖功能和物流管理功能，这些业务仍在线下完成，操作较繁琐，效率低下。

渠道方面：相应的功能不够集中，分散在不同的系统渠道中，用户体验较差。

数据方面：现有外部信息分散在多个渠道中未集中整合，业务部门无法快速查找信息数据，无法对信息数据做出有价值的分析。

3.2　系统现状

现有电力企业业务系统大多以 SOA 服务框架为核心，通过 SOA 集成服务平台进行系统集成，如图 2 所示。

初步了解电力企业现有业务系统技术架构具有如下特点：一，不是前后端分离架构，前后端非分离的架构在对原有系统进行 UI 改造时，必须同时改造前端和后端，相当于重写；二，前端没有采用 portal 技术，即在系统设计开发时没有考虑门户集成，无法直接进行页面前端集成；三，后端不是微服务架构，现有业务系统使用 SOA 架构，接口为 Web services，供应链统一服务平台将使用微服务架构，接口为 Web API。由于架构不同，接口不同，现有业务系统的接口不具备重用性，无法直接进行业务模块化集成。技术架构如图 3 所示。

综上所述，电力企业现有业务系统在对外协同业务上具有一定的局限性，无法支撑对外部用户的统一管理，因此，尽快构建涵盖供应链全业务流程的业务协同、共享、集成互动平台就显得尤为重要和迫切。

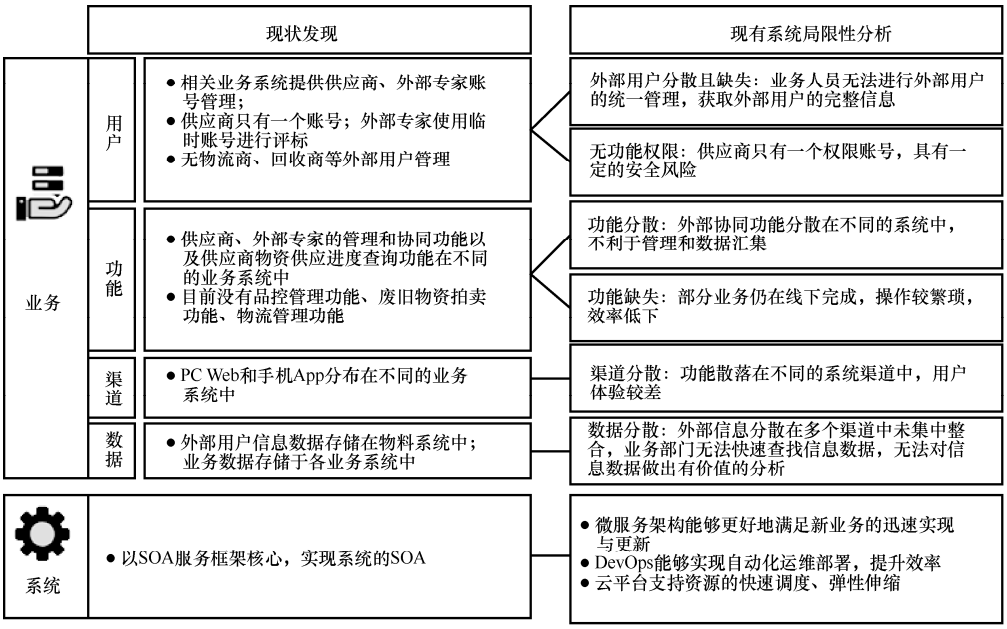


图 2　现状分析

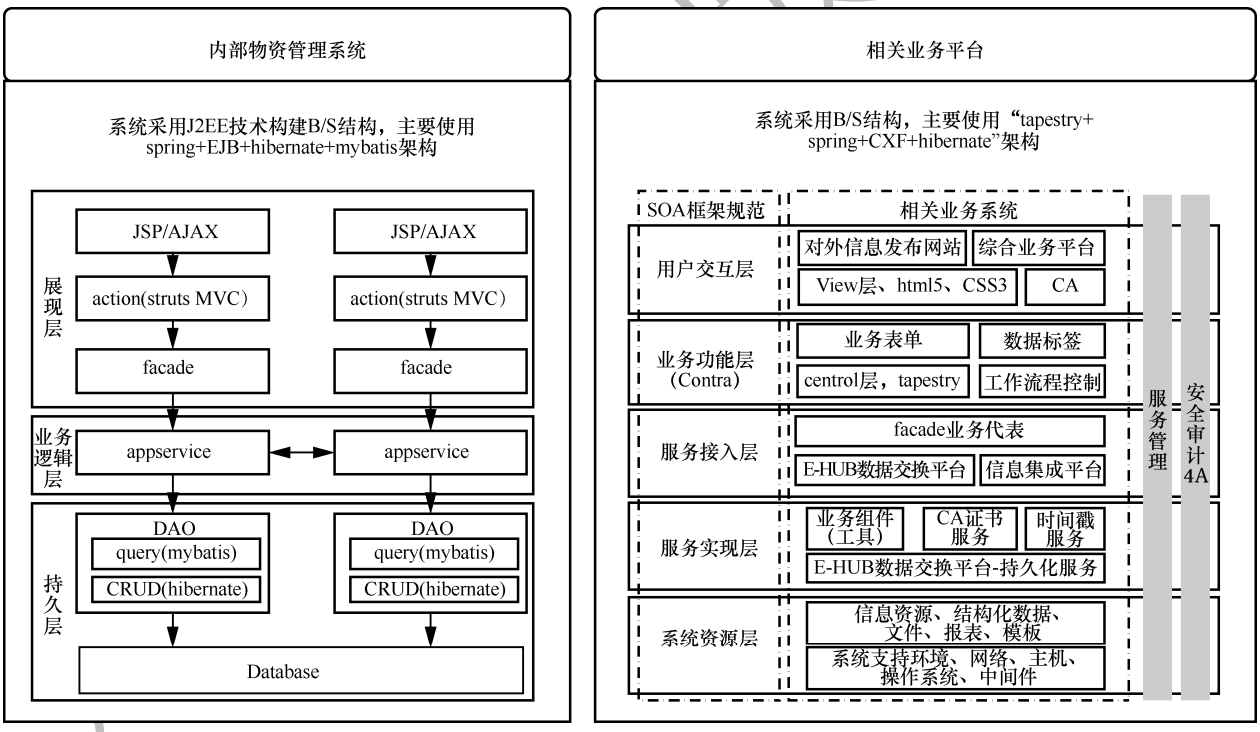


图 3　技术架构

4　设计规划

供应链统一服务平台以业务应用的实际需求为导向，优先满足业务需求 、仅外部用户操作和优先建设改造现有系统已有功能 3 个方面划分不同阶段所要建设的功能，其中第一阶段的建设核心为供应商协同服务和角色权限管理功能，功能蓝图如图 4 所示。

实现外部用户权限管理服务系统。通过单点登录技术，使外部用户在登录外网系统时使用一套账号密码。当用户使用供应链统一服务平台页面中其他系统

图 4　供应链统一服务平台功能蓝图

的业务模块时，将自动登录到需要访问的业务系统，无需再次进行用户认证；采用业界通用 RBAC 模型，实现组织机构分级账户管理体系功能。供应商通过组织机构代码注册商户主账户，由商户主账户自主维护组织机构树，创建子账户关联不同的功能角色，实现职责权限分工管理，有利于业务追踪。

实现供应商协同服务核心功能。实现供应商日常管理、采购协同管理、合同管理和履约管理功能。其中电商系统已有的功能需要配合改造，集成到供应链统一服务平台中。

实现综合信息管理功能，包括公告/新闻/综合管理、平台首页管理、通知提醒管理等功能。综合信息管理需考虑与电商系统、物资系统、SIMPLE 系统等业务系统进行对接，平台内容管理员将对综合信息进行管理。

实现运行管理功能。包括系统运维和业务运维。系统运维是对网络设备、服务器、数据库等进行监控和管理。业务运维则是对业务运行情况进行监控和管理。

实现技术服务中心的搭建。供应链统一服务采用微服务架构，依托 DevOps 和云平台。微服务架构能够更好地满足新业务的迅速实现与更新。DevOps 能够实现自动化运维部署，提升效率。云平台支持资源的快速调度、弹性伸缩。

5 技术架构

供应链统一服务平台技术架构设计的主要特点如下，技术架构蓝图如图 5 所示。

- 采用以微服务为基本单位的分布式应用架构；
- 依托云平台和 DevOps，支持资源的快速调度，实现自动化运维部署；
- 前后端分离，展现数据由后端通过异步接口提供；
- 不同前端采用不同的技术路线，分为 Web 和移动客户端；
- 前端采用门户框架，与其他业务系统进行 URL 集成。

6 结束语

随着市场竞争的加剧，供应链必将成为一个动态的网链结构，以适应市场变化、柔性、速度、革新、知识等需要。通过供应链统一服务平台，实现内外部供应链融合，构成一个网链化结构。在“云大物移”的新技术发展背景下，电力企业应做到以大数据为核心，以云计算、物联网、移动互联网为辅助手段，依托供应链服务平台对外部用户的管理及业务数据进行采集分析，实现供应链管理数字化实践。

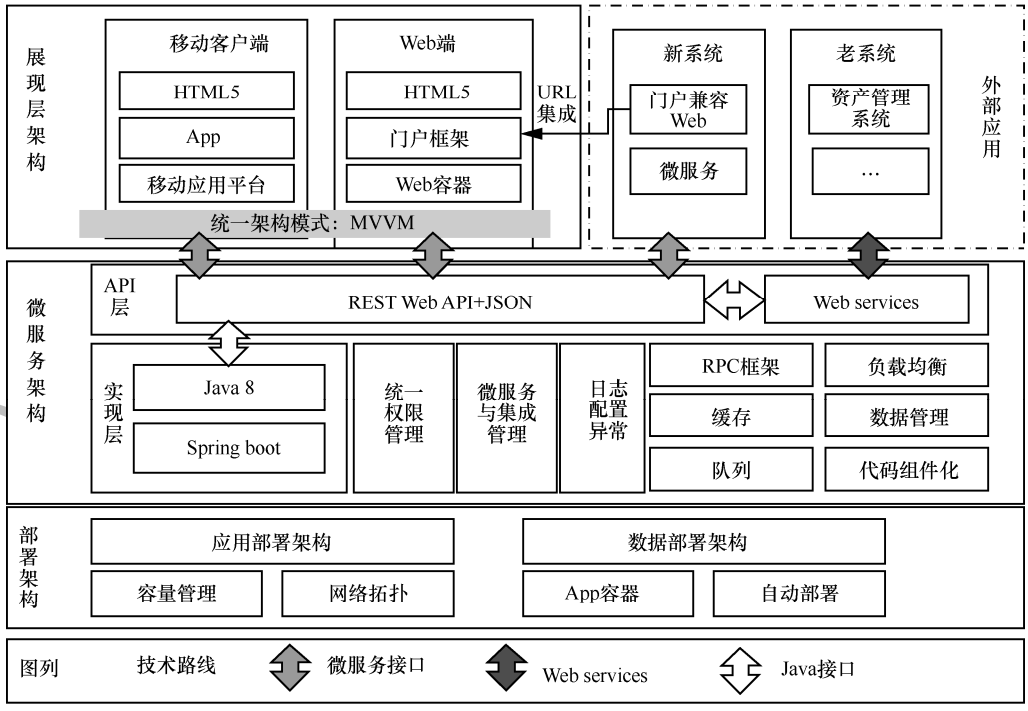


图 5　技术架构蓝图

参考文献：

[1] 李春阳, 刘迪, 崔蔚, 等. 基于微服务架构的统一应用开发平台[J]. 计算机系统应用, 2017, 26(4): 43-48.

[2] 王纪军, 张斌, 顾永生, 等. 云环境中 Web 应用的微服务架构评估[J]. 计算机系统应用, 2017, 26(5): 9-15.

[3] HERRERA F, HERRERA-VIEDMA E, VERDEGAY J L. A linguistic decision process in group decision making[J]. Group Decision and Negotiation. 1996, 5 (2): 165176.

[4] 陈卫东, 樊治平, 王建宇, 等. 供应商协同设计能力的一综合评价方法[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2005, 26(9): 915-918.

[5] 陈翔凤. 供应链采购合同组合管理策略研究[J]. 科技导报, 2016, 24(2): 78-81.

[6] 周明, 张异, 李勇, 等. 供应链质量管理中的最优合同设计[J]. 管理工程学报, 2016, 20(3): 120-122.

[7] 唐金栓, 周鑫淼. 供应链环境下不同质量水平时最优质量成本的模型研究[J]. 机械工程师, 2012(7): 74-75.

人民邮电出版社出版

电力企业基于物联网技术的智慧园区建设

陈强，倪隽

（鼎信信息科技有限责任公司，广东　广州 510700）

摘　要：近年来，智慧园区的概念方兴未艾。智慧园区作为智慧城市的重要组成和企业的转型发展的必要选择，被广泛应用于金融、工业生产、学校等多个行业之中。考虑到智慧园区的发展前景和现行环境下出现的问题，通过分析物联网技术在智慧园区中的应用，从智能中枢、智能安防、智能交通、智能楼宇、智能物业 5 方面探讨未来业务规划方向，为智慧园区建设提供新思路。

关键词：智慧园区；物联网；云计算；大数据

1　引言

从 2008 年 IBM 提出“智慧的地球”这一概念以来，全球兴起智慧城市的建设热潮。其中，园区作为城市建设的重要组成部分和城市发展的重要推动力，受到广泛关注。如今，随着产业集中度的提高以及产城一体化的融合发展，园区的发展呈现新的趋势：一方面，园区经济向生态型转变，开始注重产业的生态化以及生产、生活、生态的协调发展；另一方面，园区管理向城市化转变，园区不再是简单的生产研发场所，更是催生技术创新、服务多元需求的必然选择。

科技的进步辅以政策的战略支持，近年来，国内一批优秀园区已经开展智慧园区的建设工作，如苏州工业园区建设了智能公交系统试点，实现电子站牌、公交监控（GPS 和视频）和公交调度智能化；上海漕河泾开发区建设智能安防平台、智能一卡通、智能楼宇等，对园区实施智能化管理。虽然园区在企业信息化和各类建筑智能化方向取得了一定进展，但当前建设仍然存在各系统之间信息联动性差、园区缺乏有效协同管理等多种问题。考虑到智慧园区的发展前景和现行环境下出现的问题，本文通过分析物联网技术在智慧园区中的应用，从智能中枢、智能安防、智能交通、智能楼宇、智能物业 5 方面探讨未来业务规划方向，为智慧园区建设提供新思路。

2　智慧园区发展理念及发展状况

2.1　智慧园区定义

智慧园区即园区的智能化和信息化，其核心是利用人工智能、物联网、移动互联网、云计算和大数据感知技术，将人员、设备、园区（即人、物、场）的所有信息全面感知互联。它不仅有利于推动园区更好地管理人员、车辆、设备、建筑，更有利于帮助工业园区、商业楼宇等场所提高服务品质、提升工作效率以及降低管理消耗，为这些场所提供标准化流程、便捷管理方式以及数据和技术能力支撑。

智慧园区注重人、企业、园区三方关系的协调：首先，园区强调以人为本，以人的需求作为根本出发点。园区内的建设讲究绿色环保，关注园区内人员的生活品质；其次，通过感知技术，园区内实现人、 物相关信息的全面感知与互联，形成智能的泛在信息源，实现泛在信息之间的无缝连接，协同联动；同时，园区形成的具有持续创新发展的内生驱动力量，为自我适应调节、优化和完善提供动力，促进了其内生发展与自主管理。

2.2　智慧园区产业发展状况

我国的园区经历了 4 个发展阶段：从单纯生产的粗犷式工业园区到以经济、高新技术为主的产业园区，到知识经济、高科技技术、资金导向的研发产业园，再到如今的基于物联网、云计算等技术的智慧园区，园区的管理技术、创新能力等不断提高。截至目前，我国已经形成了“沿海为主、中西部为辅”的智慧园区战略格局：环渤海、长三角和珠三角地区已成为全国智慧园区建设的三大聚集区。

目前，我国的智慧园区按照生产属性可分为 4 类。第一类为服务型智慧区，包括金融园区、贸易园区、物流园区、商业园区等；第二类为生产型智慧园区，

人民邮电出版社出版

包括工业园区、加工园区等；第三类为文化型智慧园区，包括文化创意园区、高校园区、教育基地等；第四类为特别类型智慧园区，主要指医疗、化工等行业的生产、研发基地等。不同类型的智慧园区为各个行业提供新的发展机遇，为园区经营者和入驻企业带来巨大的经济效益，推动优质产业链的形成。

2.3 智慧园区的政策支持

随着国内智慧城市建设步伐的不断加快，党中央和国务院也更加注重智慧园区的发展。2012 年以来，国家已颁布多项政策，推动智慧园区的建设，见表 1。

3 物联网技术在智慧园区中的应用

3.1 物联网技术

物联网（internet of things）概念最早于 1999 年由美国 MIT 提出，是指依托 RFID（radio frequency identification）技术和设备，按约定的通信协议与互联网结合，使物品信息实现智能化识别和管理，实现物品信息互联、可交换和共享而形成的网络。

随着网络技术不断发展，基于移动通信网来部署物联网业务应用已经成为业界共识，在此基础上的网络架构和商业模式不但可以依托通信网扩大物联网应用范围，而且可以规避网络投资风险。

3.2 物联网技术与智慧园区

智慧园区是一组物联网应用的集合，在智慧园区的建设中，物联网为其提供了技术支持和基础设施设计方案。通过为基础设施赋能的建设方式，打造“1 园区，2 张网，1 平台，*N* 应用”的智慧园区发展模式，如图 1 所示，重点聚焦“人、物、场”的数据采集、存储、分析，让智能应用创造更多价值。

4 智慧园区建设规划产品展示

智慧园区的规划主要包括两方面内容：一是基础设施规划，二是园区业务规划。其中，基础设施建设由专业的工程设计公司承担，通过对办公区、食宿区、生产车间、仓储区的建设，实现功能分区合理化和设备控制自动化。园区业务规划由专业信息公司承接，通过打造智能中枢、智能安防、智能交通、智能楼宇、智能物业等业务，实现园区运营数字化及园区管理智能化。本文将主要围绕园区业务规划展开。

表 1 智慧园区的政策梳理

时间	政策
2012 年 11 月	党的“十八大”提出全面建设新型小康社会，智慧城市、智慧园区建设是国家城市化发展过程中的必然选择
2013 年 1 月	住建部在北京召开创建国家智慧城市试点工作会议，其中包含园区建设，如苏州工业园区、上海漕河泾开发区、西安高新智慧化园区等
2014 年 3 月	《国家新型城镇化规划》中强调推进智慧化城市建设、推进智慧化的信息服务和新型的信息支持、产业发展向现代化转型等内容
“十三五”期间	智慧园区服务于“一带一路”计划，推动一带一路的科研合作，共建联合实验室（研究中心）、国际技术专业中心、产业合作中心、新产品孵化中心等



图 1 智慧园区物联网基础设施设计示意图

4.1 智能中枢

为充分了解园区运行健康程度，实现对园区（含办公区、食宿区、仓储区等）总体运行指标监控和异常预警管理，需要建设智能中枢，利用传感网和通信网收集照明、能耗、人流、停车以及设备预警等信息，对园区运营健康度数据进行分析。园区健康指标示意图如图 2 所示。

通过 e 平台，园区火警系统、安保系统、照明系统均被实时监控，有利于园区的智能化管理。

4.2 智能安防

为了全面提升园区安全管理水平，满足公众对信息安全的需求，团队拟建设智能安防，开展集人员出入管理、人员定位管理、重点区域监测、园区全面封闭管理和集群调度于一体的智能安防管理体系。体系通过人脸识别与门禁服务、人员追踪与定位服务、全息视频监控服务与机器人导航与巡更服务保障园区安全。

4.2.1 访客与门禁管理

传统的访客管理体系缺乏人员识别数据库，存在诸多安全隐患。第一，不法人员可能使用虚假证件进入园区，影响园区正常运作，而当事故发生时无法通过证件定位到人，增加时间解决难度；第二，现有的访客登记制度采用人工手写的方式，通过纸质资料进行保存，不仅容易遗失也增加了查找的时间成本；第三，不同访客的字迹不同，辨认困难大且不具有规范性，影响南网世界 500 强的企业形象；第四，现有证件没有访客人员的照片，难以确定证件上的是访客本人，存在访客使用他人证件的隐患；第五，人工登记的效率较低，加大了安保人员的工作量，影响工作进度，容易造成其他部门的不满，引发员工冲突。基于以上考量，建设基于人脸识别的访客与门禁制度，并广泛应用于产业园区、办公基地、培训基地、建筑楼宇等场所是提升安防管理的必要选择。

为了更好地配合人脸识别与门禁服务，应推出人脸识别系统并广泛应用于园区门口、停车场及地下车库、楼宇内部及过道、专属办公区域等需访客登记的场所，如图 3 所示。通过企业访客管理后台实现对人员来访业务的监控、追踪、审批、提醒、引导、预约，为出入管理保驾护航。

4.2.2 人员定位与追踪

随着园区的进一步发展扩大，人员流动速率加快，传统的人员活动管理方式已不能适应智慧园区的管理需求。一方面，人工管理无法有效收集处理人员活动数据，无法实现对园区内人流、车流的有效分析和预测，易造成安全隐患。另一方面，巡更管理、访客管理、追踪管理等业务场景需要大量人力物力，各子系统的应用可扩展性相对较差，运营成本和维护成本长期处于居高不下的局面。为了实现对智慧园区内巡更、访客、物流、会议等多个场景的集中式、实时性监控，需要借助物联网技术，构建一体化、集中化、智能化的定位管理系统。首先，访客进行登记时，会获得内置 RFID 标签的门禁卡，访客需全程佩戴该设备，以保障园区对其定位和实施追踪；当访客在园区内进行活动时，定位系统的摄像头可拍摄并分析具体的人员

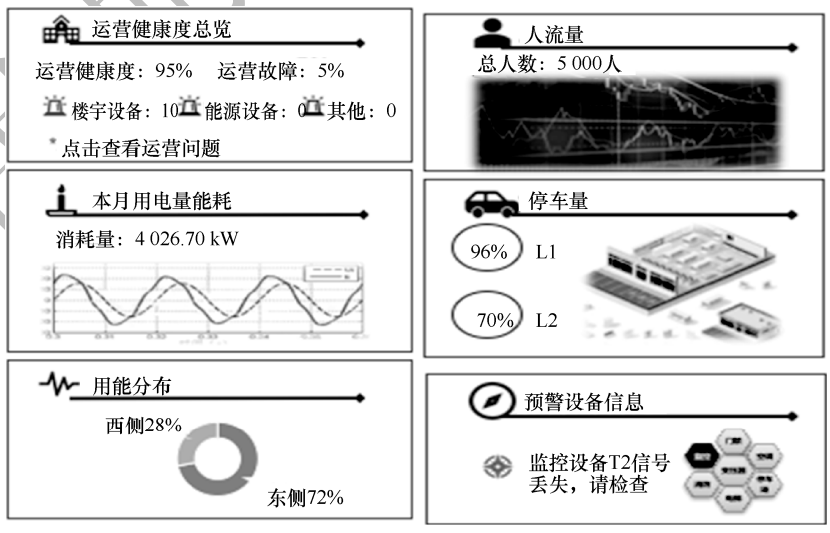


图 2　园区健康指标示意图



图 3 “e 脸通”运作流程示意图

活动；后台的定位与轨迹追踪管理平台通过人员活动分析，结合人员资料库进行人员异常情况预警。

目前，已有专业信息化公司从事相关研发工作，开始研制自主产权 RFID 标签和终端设备，提供 RFID 全套解决方案，解决园区在设备盘点管理、人员定位和追踪管理等需求，实现在受控区域、特殊区域进行禁出、禁入的管理和报警等功能，如图 4、图 5 所示。

4.2.3 全息视频监控

随着科技的发展，监控技术从“人眼+人脑时代”过渡到“机器眼+人眼时代”，目前已经发展至“机器眼+机器脑时代”。传统的通过机器眼+人眼搜索的监控系统受到人员监控水平、身体状态和判断意识限制，稳定性较差；同时，由于其无法主动分析，缺乏对高频易发事件、敏感事件快速精准识别的能力，加大了监控系统漏洞。在此背景下，全系视频监控服务应运而生：首先，系统对园区进行 7×24 h 的全天候监控，值班人员只需要在系统告警时进行确认，大大降低值班人员的工作负担。其次，全系视频监控可识别人眼无法分辨的细微变化，包括远距离、弱光线等情况下的入侵行为和威胁，有利于对园区的全面监控；同时，全系视频监控还可检测摄像机异常状态，当视频线断开、摄像机被破坏或被认为移动时，都会反馈到后台系统，降低了人为破坏的风险；最后，对各种安全事件，如场景变化、人脸识别等的主动分析预警，也让园区的安全系数得以保障。综上，全息视频监控对实现园区楼宇、



图 4 RFID 技术在人员定位与追踪方面的应用

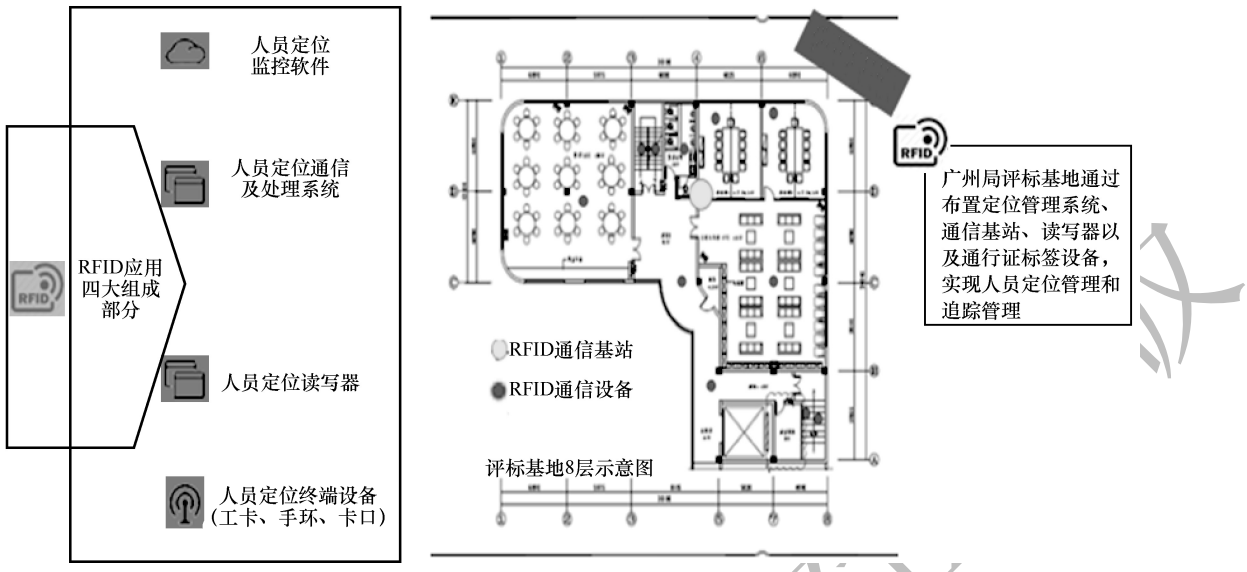


图 5　RFID 应用产品“e 定位”示例

工厂、环境、设备、人员、交通工具的全方位监控布置，实现跨系统综合监管、全天候监测预警、智能化应急指挥为核心部署智能安防应用框架有重要意义。

智能监控系统可以利用高清摄像头、人脸抓拍、自动识别等技术，实现园区楼宇、工厂、环境、设备、人员、交通工具的全方位智能化监控管理，以跨系统综合监管、全天候监测预警、智能化应急指挥为核心部署智能安防应用，如图 6 所示。



图 6　智能监控运作示意

4.2.4　智能机器人导航与巡更

在智慧园区对导航的精确度和数据利用率要求提高的背景下，传统的导航与巡更管理已无法适应园区管理要求。一方面，传统导航管理主要依靠人员询问和查找，易出现多点站岗执勤人员投入多、成本高，或者缺少布点引导少、人员体验差的现象；另一方面，传统的巡更管理依靠大量安保队伍定期开展园区巡逻，缺乏针对重要设备等贵重品运行状态的实时监控。同时，人工管理的方式无法对园区内工作人员活动数据进行完整的收集分析，无法实现园区内人流、车流的智能路线优化等延伸服务。与传统导航巡更业务相比，安保智能机器人可以实现人员识别与跟踪、智能预警，并结合视频监控系统实现对园区安全和异常事件管理。智能迎宾机器人在园区门口及重要区域提供业务咨询、引导讲解、识别互动等智能服务；智能安保机器人借助传感和智能路线引导，实现 24 h 自动巡更，当发生区域入侵、物品丢失等安全事件时会自动发出预警。

智能机器人具有智慧交互功能，可同时开展人脸识别、语音识别、手势识别、引导讲解及多媒体交互，通过深度学习和 AI 云服务，实现环境建模、地图构建、自主运动、定位和避障等实时自主导航功能。同时产品可按业务场景需求导入专业知识库，开展二次定制开发，如图 7、图 8 所示。

4.3　智能交通

为了在时间和空间上合理配置交通资源，实现车辆实时定位、车辆智能调度以及人员快捷停车和寻车管理，需要建立园区交通数据大脑，应用云计算、大数据、人工智能等技术能力，对园区交通状况实时数据监控。一方面，智能交通可以统筹交通资源，对出入车辆路线等进行规划；另一方面，智能交通系统综合考虑停车场资源分布和利用情况，大大提升停车和寻车效率。

4.3.1　交通规划与资源统筹

传统的路线规划缺少事件管理和应急处理机制，

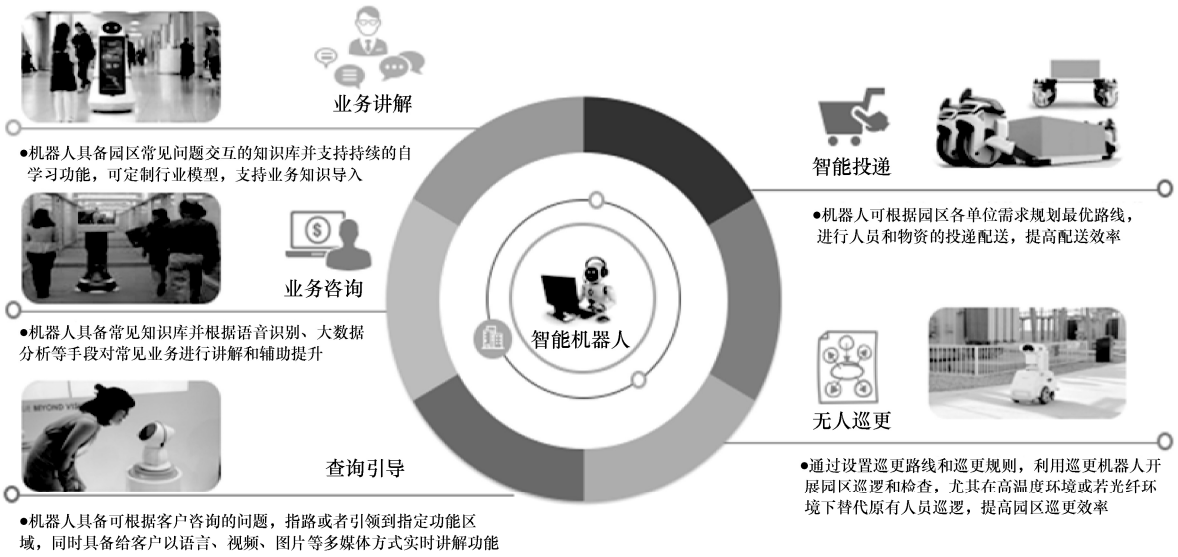


图 7　智能机器人导航与巡更示意图



图 8　服务机器人结构示意图

无法满足园区内交通系统高效稳定运转的要求。传统园区路线规划仅满足当时交通状态，对车道规划、路口规划、出入路线规划考虑不周全，对路况应急事件出现无预案，导致路线突发性拥堵、交通不畅，应急交通处理效率较差；同时，对出入节点规划较差，对上班车辆潮汐出入特点、安卫环车辆出入、运输车辆、临时大批量车辆进出场景考虑不周全，导致园区周期性拥堵，交通不畅。考虑到园区交通高效通畅运行的必要性，相关人员应统筹园区内道路资源、车辆状况以及人员交通需求等基本情况，合理安排用路、用车时间、车次、路线，提高园区内车辆运转效率和交通管理效率。

智能交通规划与资源统筹服务，为数据汇聚与信息共享搭建入口，推动园区交通信息公共数据库的建立。它利用云计算、大数据、人工智能等技术手段，不仅实现了对道路交通的全面综合管理，也通过开展拥堵疏通和停车导引，实现了对路况的提前预警，积极适应了新能源汽车、无人驾驶等前沿技术的发展，如图 9 所示。

4.3.2　园区停车与寻车

来时停车难、走时找车难已成为困扰很多人的问题。不断开车寻找车位的方式费时费力，十分不经济环保；大型园区、办公区、商超的地下停车场道路复杂，取车耗时耗力十分困难。为了提高园区内车辆运转效率和交通管理效率，需要对停车进行全方位引导，同时通过反向寻车引导车主快速找车。

停车场门口的车牌或无牌快速识别装置将车辆信息反馈至停车云，停车云识别车辆后直接开闸并在后台完成信息推送；车辆进入后依靠停车全方位导航，无需车主自主寻车；车辆离场时通过移动端（公众号或现场扫码）直接完成停车费支付。全过程不需人工

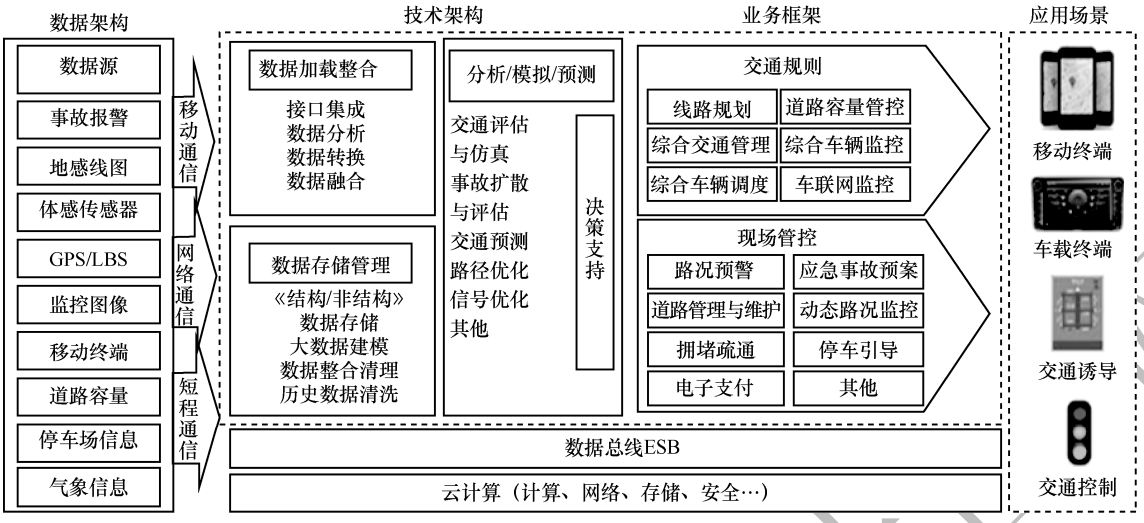


图 9　智能交通运行示意图

操作，方便简洁。针对寻车难的问题，车主可通过停车场设置的自助查询终端或用户移动端查询车牌信息，根据系统自动生成的寻车路线和导航路径快速找到自己车辆。整个停车场系统内设置区域视频探测器、视频区域控制器、区域屏、系统应用模块、反向查询机等设备，依靠二维码+微信小程序辅助，实现整个停车寻车的智能运作，如图 10、图 11 所示。

4.4　智能楼宇

为了园区拥有安全、可靠、舒适的办公环境，需要运用物联网、大数据分析等技术对建筑物内的设备进行自动控制，对楼宇建筑内制冷、供热、给水、照明等系统进行智能化管理。

4.4.1　设备监控服务

传统设备管理需要大量人员队伍进行设备监控管理，面临设备处于地下或高架、高温或阴雨等恶劣环境，对设备检修、管理和控制带来很大困难。而设备自动化的管理服务通过物联网和移动应用技术，基于设备身份编码管理实现设备数量统计、精准定位和设备的技术参数、维修信息的现场提取与推送，极大地提高了设备管理和运维检修工作效率与质量。一方面，它对设备状态进行实时监测，实现关键设备数量快速盘点、状态分析和精准定位，不仅能有效统计有效资产，也能帮助人员快速定位来排查设备故障、提供检修服务；另一方面，通过对设备生命周期成本花费的

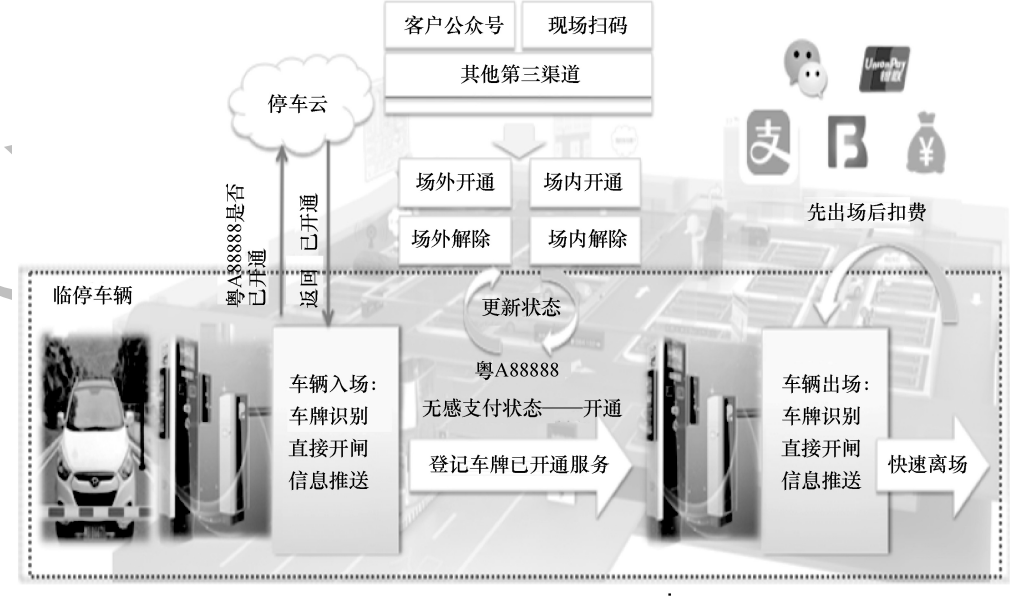


图 10　智能停车系统运作示意图

统计，为设备购置、运维和退役提供了数据参考，有利于产品全生命周期的成本分析。



图 11　智能寻车系统运作示意图

通过设备安装 RFID 传感器（即 RFID 应用场景之二），实现设备远程自动盘点。同时通过设备精准定位和相关设备技术参数、维修信息的现场提取与推送，极大提高现场人员运维检修效率与质量，如图 12 所示。

4.4.2　智能环境控制服务

楼宇内的温度、湿度和照明设施运作状况对员工舒适度、楼宇运行有至关重要的意义。建立智能环境控制体系，可以通过智能开关会议室灯光、空调等设备，实现节能减排；同时根据个人习惯进行环境内空调、新风、灯光等的自动调节，也有利于提升员工幸福感。建立环境监测体系，通过烟感、光感等传感器的实时监测，用户可实时查看，更好地了解办公环境情况。同时，当出现高温、低温、来电、停电、空气质量变化等突发状况时，系统会进行异常预警，更好地应对突发情况。

4.4.3　智慧能效管理服务

楼宇能耗量大、用能区域和设备分布不均匀是困扰众多园区的问题。通过建立能耗管理系统，对楼宇能耗数据进行实时监测，有利于驱动能源合理利用，推动节能策略的制定，助力园区成为绿色能源示范区。

对楼宇的节能监控需要从单体、区域、全面 3 方面进行。楼宇节能监控装置利用先进的传感器、控制器制造的能耗监测终端和软件应用程序，将能源供需两端设备、系统连接起来，形成能源互联互通，实现在线监测；通过利用非侵入分项计量技术，进行大数据采集、计量、统计，为用能单位提供全方位多维度能耗分析，使其快速了解自身消费结构；及时上报设备异常信息并实行多设备联动控制综合管控，有利于实现总体能耗信息的大屏幕监测，如图 13 所示。

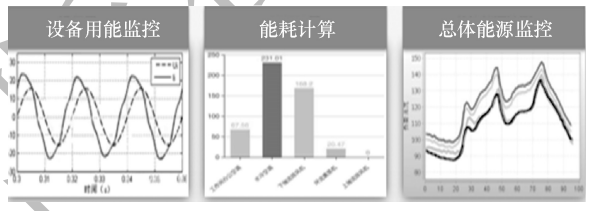


图 13　楼宇节能监控装置运作示意图

4.4.4　智能应急预警服务

为了保障楼宇安全，降低消防系统、水压水闸系统发生故障的概率，需要对消防设施及应急预警进行管理。运用大数据、云计算、物联网、地理信息等新一代信息技术，实现对现有系统、设备检测和应急管

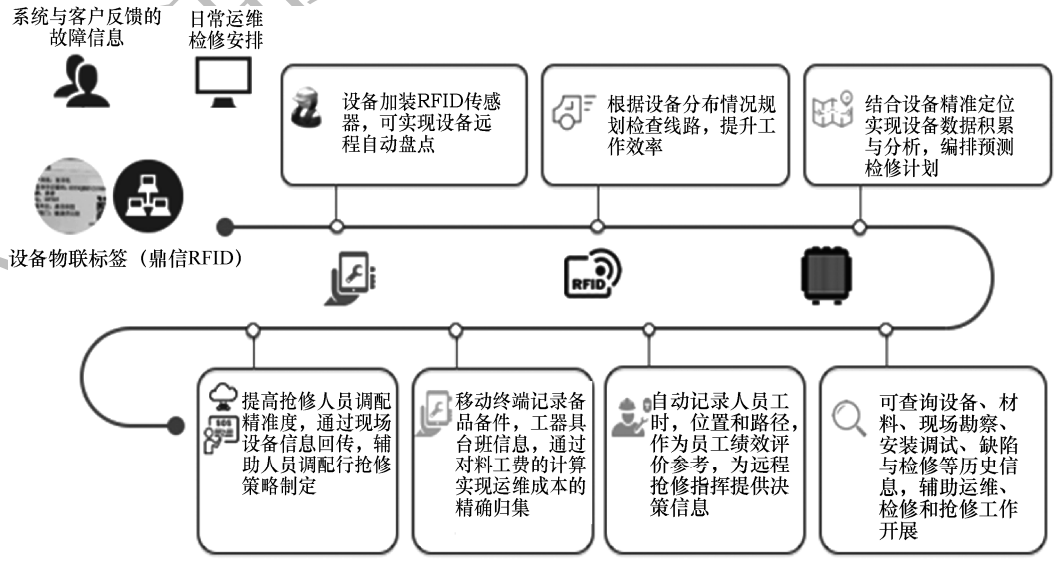


图 12　盘点设备运作示意图

理。一方面，通过对接烟感设备数据，对燃气、有毒气体准确检测、报警、自动启动消防设备并与照明、电梯、门禁等系统智能联动，有利于实现人员安全疏散和撤离；另一方面，构建可视化的预案管理功能，如设定应急线路、模拟应急场景（火灾、烟雾等），有利于为应急处理、指挥调度提供支撑。

4.5 智能物业

为了进一步开发和利用现有办公资源，实现智能会议和智能住宿管理服务，需要运用智能楼宇控制设备，实现其和办公系统的互联互通。

4.5.1 智能会议服务

智能会议服务通过语音识别与自然语言处理技术，广泛应用于会议的准备、记录、结束 3 个环节，实现实时会议记录与同声翻译。在会议准备阶段，该系统可根据会议预约提前开启会议室空调、灯管和办公设备，并在会议结束时自动关闭相关设备，提高会议效率，降低因人为疏忽而造成的能源浪费。在会议进行时，通过云投屏实现跨地域、跨时区、多屏幕实时对接，实现会议平自助记录并对应发给参会人，实现同声语音传译，让会议高效运行，如图 14 所示。

4.5.2 智能住宿服务

智能住宿服务结合智能门禁与智能楼宇技术打造智能酒店管理，并通过大数据分析与物联网技术实现无人值守酒店入住体验，打造宾至如归的差旅新体验。用户通过刷脸的方式进入酒店，凭信用等级可直接选房取卡入住，整个过程无需前台人工服务。在房间门口时，用户刷脸开门，并可随时通过 AI 语音管家控制房间灯光、窗帘、家电等设备，语音管家还会为用户提供日程提醒、场景设置的服务。当用户离店时，不再需要传统的查房流程，系统将自动扣费，减少等待时间。整个住宿过程中，信用发挥重要作用，从而鼓励了用户对信用的维护。

5 结束语

基于物联网的智慧园区是未来园区发展的必然趋势，也是电力企业进行智能科学管理的必要选择。同时，随物联网、大数据、云计算等技术的发展为智慧园区的建设提供更有力的技术支持和更全面的基础设施设计方案。其中，智能中枢对园区内各个场景运行指标进行监控并做出异常预警，有利于充分了解园区运行健康程度；智能安防通过提供体系通过人脸识别与门禁服务、人员追踪与定位服务、全息视频监控服务与机器人导航与巡更服务，有效保障园区安全；智能交通合理配置交通资源，实现车辆实时定位和智能调度，提高停车和寻车效率以及用户体验；智能楼宇通过物联网、大数据分析等技术对建筑内的设备进行自动控制，提升了楼宇运作效率；智能物业提供智能会议与智能住宿服务，把方便带给每一个来到园区的人。以上 5 点结合，不仅提升了员工工作的幸福感，也有效保障了园区运作安全性，推动园区管理

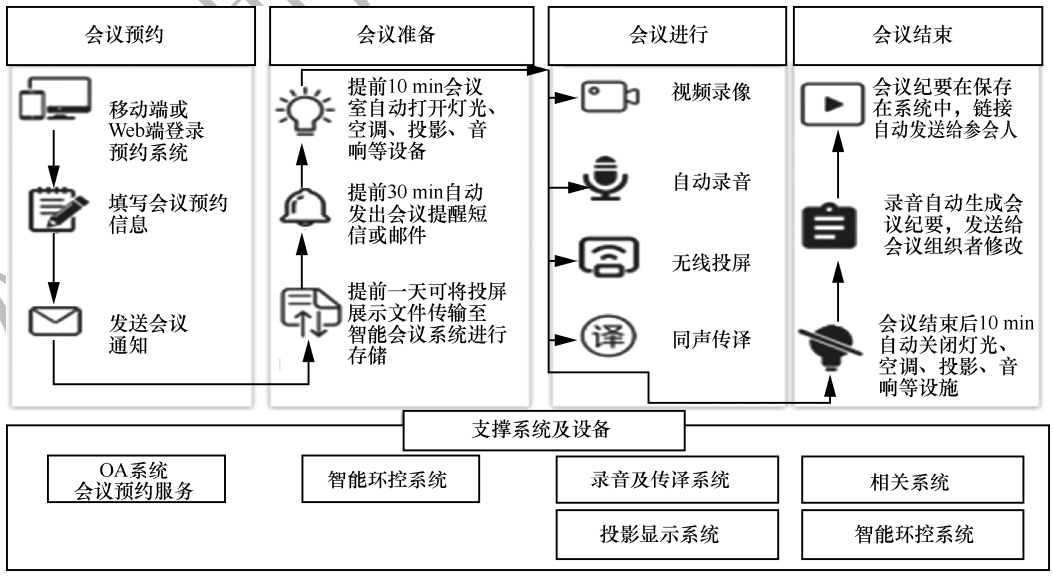


图 14 智能会议产品运作示意图

向智能化、系统化转型，是电力企业园区转型升级的必要选择。

参考文献：

[1] 孙韩林，范九伦，刘建华，等. 智慧园区建设探讨[J].现代电子技术, 2013, 7(14): 61-64.

[2] 傅小宁，王震. 基于物联网、云计算新型智慧园区的部署研究[J]. 邮电设计技术, 2017(10): 83-87.

[3] 王伟，王晔，徐大成. 基于物联网技术的智慧园区信息系统研究[J]. 计算机与网络, 2016, 42(7): 68-69.

人民邮电出版社出版

电力通信网过渡升级 IPv6 技术探讨

杨丽[1]，王炫中[1]，刘锋[2]
（1. 北京中电飞华通信股份有限公司，北京 100070;
2. 国网思极网安科技（北京）有限公司，北京 102209）

摘　要：IPv6 以其丰富的地址资源在取代 IPv4 方面具有不可替代的优势，电力通信网面临多终端、多业务、多场景的应用，其满足了电力通信网发展的需求，在安全性方面还需要进一步研究分析和论证。在 IPv6 发展现状的基础上，阐述了对电力通信网过渡升级到 IPv6 的技术策略，指出了 IPv6 在电力通信网部署所面临的安全问题。

关键词：IPv6；电力通信；安全性

1　引言

电力企业的职责是保障电网安全稳定运行，伴随着互联网时代的到来，电力企业发展的智能电网对通信网络的依赖越来越高，电力通信网对于智能电网的支撑作用也越来越明显。目前电力企业已建成全球规模最大、功能覆盖最全、统一性最高的电力通信专网和一体化集团企业级信息系统，信息通信新技术在推进电力生产经营、企业管理变革与业务模式创新等方面发挥的作用越来越大。而 IP 地址短缺已经成为电力通信网发展的瓶颈，2014 年电力企业就已经在山西、江苏、辽宁等地区开展了电力 IPv6 实验网络关键技术研究，这些研究成果为电力通信网由 IPv4 向 IPv6 过渡奠定了基础，开启了向下一代互联网演进的新起点。

2　IPv6 发展现状

IPv4 的地址设计原则源于军事、科研应用，其地址由 32 位二进制数构成，总数接近 43 亿个，国际互联网数字分配机构 IANA(The Internet Assigned Numbers Authority)已于 2011 年 2 月分配完 IPv4 剩余的地址块。IPv6 由 128 位二进制数构成，1998 年 IPv6 标准正式发布，2012 年全球 IPv6 网络正式启动。

我国开展 IPv6 技术的研究比较早，当时主要应用于科研机构和部分高校。2003 年启动了 CNGI（China's Next Generation Internet，中国下一代互联网）工程，即中国下一代互联网示范工程，该项目组建了中国首个 IPv6 实验网，包含 6 个核心网络、59 个节点、2 个交换中心和 273 个驻地网。该项目在核心网络设备、应用系统以及软件等领域积累了丰富的经验，形成了完整的 IPv6 产业化体系，为现阶段我国 IPv6 技术参与国际竞争打下了坚实的基础。

近几年，世界各国加速了 IPv6 实验网的部署，截至 2017 年 11 月全球共有 128 个国家部署了 IPv6 网络，全球 IPv6 互联网用户占比 20%，印度、比利时、美国、希腊、德国等国家已经达到 40%，而我国 IPv6 互联网用户占比还不足 5%。为了推进我国互联网发展，我国已经从国家层面推进 IPv6 部署工作，国务院办公厅 2017 年 11 月出台的《推进互联网协议第六版（IPv6）规模部署行动计划》提出了 2018 年末 IPv6 互联网用户数占比不低于 20%的目标。目前，中国联通、中国电信、中国移动三大基础电信运营商均已开通了国际互联网出口，电信运营商的骨干网也已具备支持 IPv6 的能力，国内 BAT 等一大批互联网公司将会逐步推进内容资源对 IPv6 的支持，与 IPv4 相比 IPv6 更能适应大数据、物联网和工业互联网的发展。

3　电力通信网部署 IPv6 的需求

电力通信网的主要作用是保证电力系统的安全稳定运行，对可靠性、安全性、控制准确快速等方面都有极高的要求。电力企业高度重视电力通信网的发展，目前已经完成电力通信专网的建设，电力通信专网在支撑电力企业核心业务发展方面独具优势，电力通信网的发展将为电力企业带来新创新发展。

日前，国家电网公司出台了《国家电网公司关于在各省公司开展综合能源服务业务的意见》，这标志着以国家电网公司为代表的电力企业迈出了向综合能

未经版权出版社出版

源提供商的转型，这必然需要建设更加可靠的通信网络，进而支撑能源互联网的发展。能源互联网强调能源与网络的融合，能源依托网络传送，网络基于能源建设，电力通信网以信息通信平台为支撑，能够在电力产生、配送、使用的全环节建立可持续和均衡发展的体系。我国 IPv6 技术的成熟为电力通信网发挥这一支撑作用提供了条件和前提。

电力企业通信网络部署 IPv6 的主要需求可以归结为两点：一是促进新技术的应用和落地。物联网、人工智能、工业互联网、虚拟现实技术的发展都需要大量的 IP 地址，IPv6 适应了这一需求，从而实现安全有效管理；二是推动基础业务的发展。用电信息采集、电力需求侧管理、配电自动化、电动汽车充换电等电力基础业务发展模式需要创新突破，才能适应互联网时代的要求，IPv6 提供海量的地址和安全保证，应用 IPv6 技术有助于实现基础业务的创新，从而更好地服务于能源互联网发展。

目前，电力企业正在积极开展 IPv4 向 IPv6 过渡的研究和试点建设。

4 电力通信网 IPv6 过渡技术探讨

4.1 IPv4 向 IPv6 过渡技术策略

IPv4 的地址为 32 位，IPv6 的地址为 128 位，地址设计原则不同，因此 IPv4 地址与 IPv6 地址无法实现互相访问。国际组织 IEFE（Institute of Electrical and Electronics Engineers）专门开展了 IPv4 / IPv6 过渡方面的研究，IPv4 技术向 IPv6 技术过渡涉及网络改造和业务系统改造两个领域，需要根据应用环境选择合适的过渡技术策略[6]。

（1）IPv6 网络改造

IPv6 网络改造只有部署双栈才能同时为 IPv4/IPv6 提供服务，按照部署的方式又可以分为软双栈和硬双栈，软双栈是一套设备同时启用 IPv4/IPv6 双协议，前提是该设备必须支持 IPv6，否则需要设备替换，在原有设备支持 IPv6 的场景下选择该种方式最为经济；硬双栈则是基于 IPv4 协议和 IPv6 协议分别部署两套设备，一套设备启用 IPv4 协议，一套设备启用 IPv6 协议。这种方式投入成本比较高，对于原有设备不支持 IPv6 协议的场景有利于资产利旧，只需要新购置支持 IPv6 协议的设备即可完成部署，待条件具备逐步淘汰原有支持 IPv4 协议的设备。目前，基础运营商的 IPv6 网络改造采用的都是这两种方式。

（2）IPv6 业务系统改造

业务系统改造涉及的范围比较广，主要技术有双栈策略、隧道策略、翻译策略以及代理策略，各个企业可以选择其中一种或多种技术混合使用来实现 IPv4 技术向 IPv6 技术的过渡[7]。

4.2 电力通信网过渡 IPv6 策略选择

电力通信网出于安全性考虑对内网、外网都进行了硬件隔离，目前外网一般采用 IPv4 协议连接到互联网，网络架构采用双出口、双链路、双设备的冗余保护方式，互联网出口分为静态接入方式和 BGP 接入方式两类，内部网络多采用 ISIS 或 OSFP 动态协议，二层网络采用 VLAN 划分逻辑网络，采用 STP 等技术进行保护。

电力企业 IPv6 网络与业务系统从纯 IPv4 网络向以 IPv6 为基础的下一代互联网过渡是一个长期的过程，演进过程可以分成初期、中期、后期 3 个阶段[8]，按照国务院国有资产监督管理委员会《关于做好 IPv6 部署应用有关工作的通知》的工作要求，现阶段面临的主要工作是完成企业门户网站和面向公众的在线服务窗口 IPv6 改造，因此结合业务特征，电力通信网外网系统需要采用双栈的改造方式提供 IPv4/IPv6 用户访问，在 IPv6 网络的搭建中同时保证业务和应用的平稳运行。电力通信网 IPv6 双栈改造方式按照改造的深入程度可以分为 3 种，即出口边界改造、全区域改造以及介于二者之间的业务边界改造，改造方式如图 1 所示。

（1）出口边界改造

出口边界改造方式与运营商 IPv6 出口实现对接后增加网站域名 IPv6 地址解析，在外网 NAT（network address translation，网络地址转换）设备处将网站的 IPv4 地址转换为 IPv6 地址（NAT-PT 技术），NAT 设备将访问业务系统的 IPv6 报文转换为 IPv4 报文。NAT 设备及以上的网络运行 IPv6/IPv4 双协议栈，NAT 设备及以下仅运行 IPv4 协议。

该方式改造部署实现简单，只需要出口网络设备和 NAT 设备支持双协议栈即可，其他网络设备、安全设备以及业务系统无需调整。但是端到端的安全性无法保证，在攻击溯源、流量审计等方面存在较大隐患，难以定位和具体封堵攻击源，另外原有防护层次被打破，运行监控体系无法发挥效果。

（2）全区域改造

全区域改造方式与运营商 IPv6 出口实现对接后增加网站域名 IPv6 地址解析，全外网区域开展 IPv6

人民邮电出版社出版

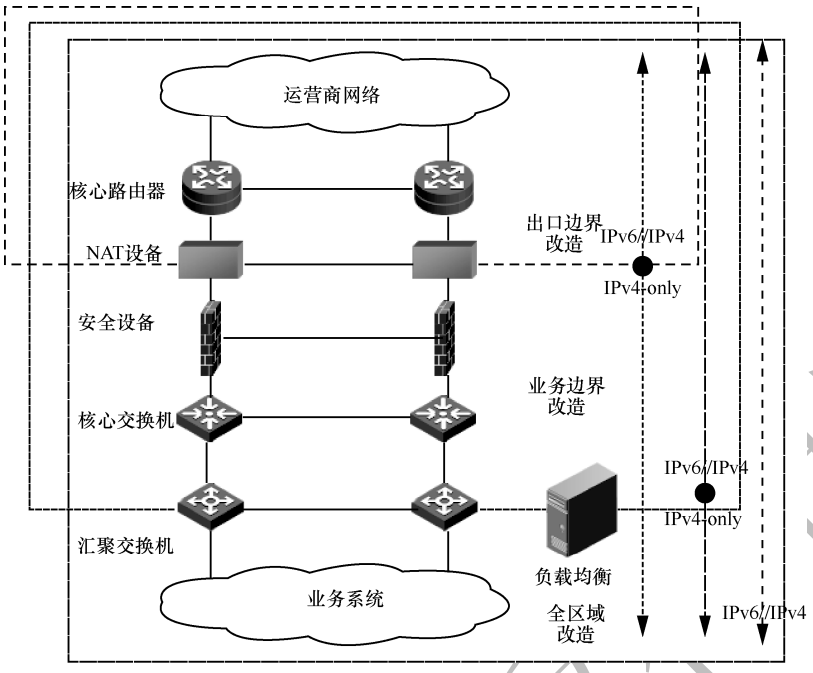


图 1　电力通信网 IPv6 改造方式示意

改造，针对业务系统启用 IPv6 网关，启用 OSPFv3 协议，保证业务系统的 IPv6 地址在数据中心内部的可达性。在业务系统上配置 IPv6 虚地址，在 NAT 设备上进行 IPv6 虚地址与 IPv6 实地址的一对一映射。

该方式改造部署全面彻底，最符合 IPv6 最终网络架构，能够实现端到端的网络安全性，且无需在 NAT 设备或业务负载均衡设备进行 IPv4 到 IPv6 的转换，增加转发效率，简化运维。但是网络改造难度大，工作量大，时间周期长，需评估相关业务系统是否支持 IPv6 地址族转发的能力。

（3）业务边界改造

业务边界改造方式与运营商 IPv6 出口实现对接后增加网站域名 IPv6 地址解析，IPv6 改造深入至业务边界，在业务负载均衡上配置 IPv6 虚地址，在 NAT 设备上进行 IPv6 虚地址与 IPv6 实地址的一对一映射，在业务负载均衡上同时监听 IPv4 和 IPv6 的端口访问请求，通过业务负载均衡将 IPv6 访问请求转换为 IPv4 访问请求，发送给对应的业务系统。业务负载均衡设备及以上的网络运行 IPv6/IPv4 双协议栈，业务负载均衡设备及以下仅运行 IPv4 协议。

该方式改造部署难度介于出口边界改造方式和全区域改造方式之间，只需要业务负载均衡及以上设备支持双协议栈即可，不影响现有运行逻辑、业务流程、防护层次等运行监控体系，基本能保证端到端的安全性，但是需要评估现网中网络设备、安全设备以及负载均衡设备对 IPv6 的支持情况和性能压力，需要考虑外网安全设备是否能够达到网络安全防护的要求。

综上，出口边界改造、全区域改造、业务边界改造方式都有其适应性，各有利弊，在电力通信网 IPv6 升级改造部署过程中要结合场景和业务特点，选择合适的过渡策略。

5　电力通信网 IPv6 过渡安全性分析

与 IPv4 相比，IPv6 提供更高的安全保证，IPsec 协议可以为 IP 地址提供安全特性，如提供访问控制、数据源身份验证、数据完整性检查、机密性保证以及抗重播攻击等。尽管 IPv6 协议在安全方面已有许多改进，但 IPv6 部署也带来了新的安全问题，IPsec 只是增强了网络层的安全，并不能保证整个网络体系的安全，同时源 IP 地址、端口欺骗会导致拒绝服务攻击，垃圾邮件、蠕虫和病毒更加难以检测，混合网络中使用隧道机制也增加了 IP 地址欺骗的可能。因此，在 IPv4 向 IPv6 的过渡阶段更需要安装防火墙、入侵检测系统、态势感知平台等防护设施[9]。

电力通信网在向 IPv6 网络过渡的过程中需要多方面考虑安全性问题[10]：对于 IPv6 即插即用的特性为网络管理员提供了很多便利，但也给黑客提供了可乘之机，部署 IPv6 尽量不采用自动配置，如需使

用自动配置功能在身份鉴别和访问控制方面都需要加以限制，如 MAC 地址绑定等；IPv6 邻居发现提供了很多新功能，如重复地址检测、不可达邻居检测等，减少了黑客扫描在线主机的机会，但还是会面临黑客利用邻居发现协议发起 ARP spoofing 攻击，因此在没有可靠的安全访问机制的情况下，部署 IPv6 必要时候关闭所有端口；在部署 IPv6 地址段时要合理规划，充分考虑黑客恶意猜测的可能，防止 IP 网络攻击；部署 IPv6 尽量采用静态隧道，建立端点之间的可信连接关系，实现数据的安全策略。

随着 IPv6 流量和用户的增加，开展基于 IPv6 安全方面的研究也越来越必要，这些研究工作将会为 IPv6 的发展提供更加可靠的保障。

6 结束语

综上所述，IPv6 是下一代互联网发展的必由之路，电力通信网大力推进 IPv6 建设，既是落实中央网络强国战略部署的具体举措，又是建设全业务泛在电力物联网、支撑能源互联网发展的客观需要。

电力通信网在向 IPv6 过渡的过程中基于安全特性选择合适的过渡技术策略，满足电力业务场景的需要，利用 IPv6 海量地址的优势实现电力物联网、工业互联网、人工智能等领域的全面创新，从而构筑电力特色的 IPv6 网络体系，最终实现电力通信网和业务系统 IPv6 全面过渡升级。

参考文献：

[1] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 推进互联网协议第六版（IPv6）规模部署行动计划[R]. 2017.

[2] 国务院国有资产监督管理委员会. 关于做好 IPv6 部署应用有关工作的通知[R]. 2018.

[3] 中国互联网络信息中心. 2017 IPv6 地址资源分配及应用情况报告[R]. 2018.

[4] 全球 IPv6 测试中心. 2017 IPv6 支持度报告[R]. 2017.

[5] 李中年. 电力通信[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.

[6] 程烨, 周雁, 谢军建. 运营商 IP 城域网向 IPv6 演进方案及策略探讨[J]. 邮电设计技术, 2013(1): 55-59.

[7] 杨晓明, 孙晓亮, 王彪. 下一代互联网现网部署及其物联网应用实例[J]. 物联网技术, 2014, 4(11): 56-59.

[8] 马军锋, 妥海俊. 向 IPv6 网络演进的技术路线和方案分析[J]. 现代电信科技, 2010(8): 6-11.

[9] 谢丰, 彭勇, 陈思聪, 等. 下一代网络安全问题战略对策研究[J]. 信息网络安全, 2011(11): 14-17.

[10] 申健, 朱婧. 校园网 IPv6 安全隐患及其对策[J]. 物联网技术, 2015, 5(4): 47-49.

人民邮电出版社出版

电力无线专网业务管理与运维检修体系研究

吴昊[1]，孙方楠[2]，刘智威[1]，袁瑜[2]，斯庭勇[1]
（1. 国网信息通信产业集团安徽继远软件有限公司，安徽 合肥 230088；
2. 国网安徽电力淮北供电公司信息通信分公司，安徽 淮北 230061）

摘　要：电力无线专网是构建电力物联网的一种重要承载网络，目前尚处于试点建设阶段，待建成后，运行管理将成为需要关注的关键问题。针对电力无线专网建成后的运行管理问题，从业务管理与系统运维检修两个方面提出一种体系架构，为电力无线专网的运行管理提供一种思路。

关键词：电力无线专网；业务管理；运维检修；体系

1　引言

随着智能电网[1-4]和物联网技术[5-8]的发展，电力物联网[9-12]也受到广泛的关注和越来越多的研究。电力物联网主要由感知层、网络层和应用层 3 个部分构成，而电力无线专网[13-17]就是网络层的一种重要的通信网络，具有专网专用、安全性高、性能优良、部署快速、接入灵活等优点。构建电力无线专网是实现电力生产业务终端有效接入的一条重要途径，国家电网公司也正在推进电力无线专网的业务应用与试点建设。目前对于电力无线专网的研究大多集中在建设方案、技术方案和安全策略等方面，尚未有专门针对电力无线专网业务管理与运维检修问题进行的研究，因此提出一种适用的电力无线专网业务管理与运维检修体系架构，为电力无线专网建成后的运行管理维护提供一种思路与架构。

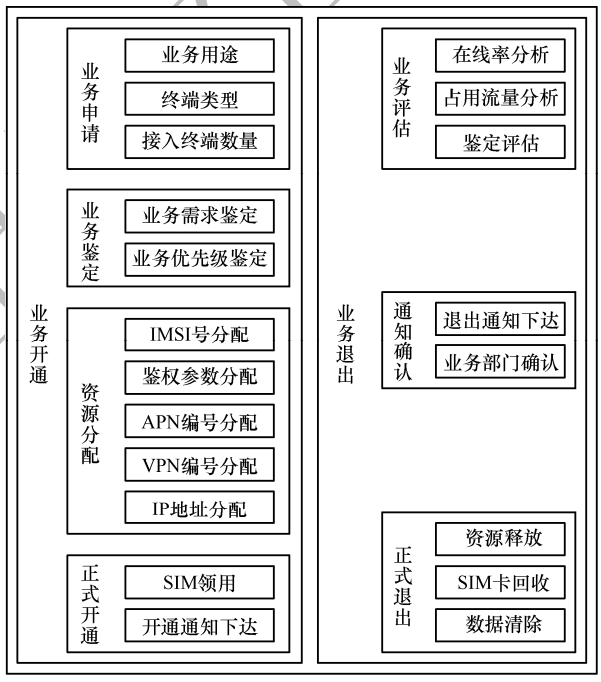


图 1　电力无线专网业务管理体系架构

2　业务管理体系

电力无线专网业务管理体系架构如图 1 所示，主要包括业务开通与业务退出两大方面。

2.1　业务开通

业务部门可以以基站、业务类型为单位，在规定时间内批量、集中向管理部门提交业务申请，申请时需要说明业务用途、终端类型和终端数量。

管理部门收到申请后应对业务部门所申请的业务进行鉴定，首先确定业务带宽速率要求、延时要求等相关通信指标需求，然后根据业务的类型以及通信指标需求确定业务的优先级。

业务鉴定完成后，管理部门需要进行资源分配，需要分配的资源包括 IMSI（international mobile subscriber identification number，国际移动用户识别码）号、鉴权参数、APN（access point name，接入点）编号、VPN（virtual private network，虚拟专用网络）编号、和 IP 地址等。

资源分配完成后，最后就是业务的正式开通，业务部门领用 SIM（subscriber identification module，用户身份识别）卡，管理部门下发书面（特殊情况也可用口头形式）通知，至此业务开通整个流程结束。

2.2 业务退出

业务退出首先由管理部门进行业务评估，通过分析找出长期闲置、无数据流量或者不在线的业务，经过综合判断鉴定相关业务是否应该退运。

若经过管理部门的业务评估，鉴定相关业务应该退运，则由管理部门向业务部门下达业务退出通知，让业务部门进行确认。

待业务部门确认后，正式启动业务退出流程，包括业务占用资源释放、SIM 卡回收以及在系统中清除相关的配置数据和业务数据。

3 运维检修体系

运维检修体系架构如图 2 所示，主要包括设备投退运、核心网运维检修、回传网运维检修、基站运维检修、终端运维检修、铁塔和抱杆运维检修、电源和机房运维检修以及数据安全等几大方面。

3.1 设备投退运

3.1.1 设备投运

设备投运单位应在规定时间内向运维检修部门提交通信设备投运申请，由运维检修部门对新投设备入

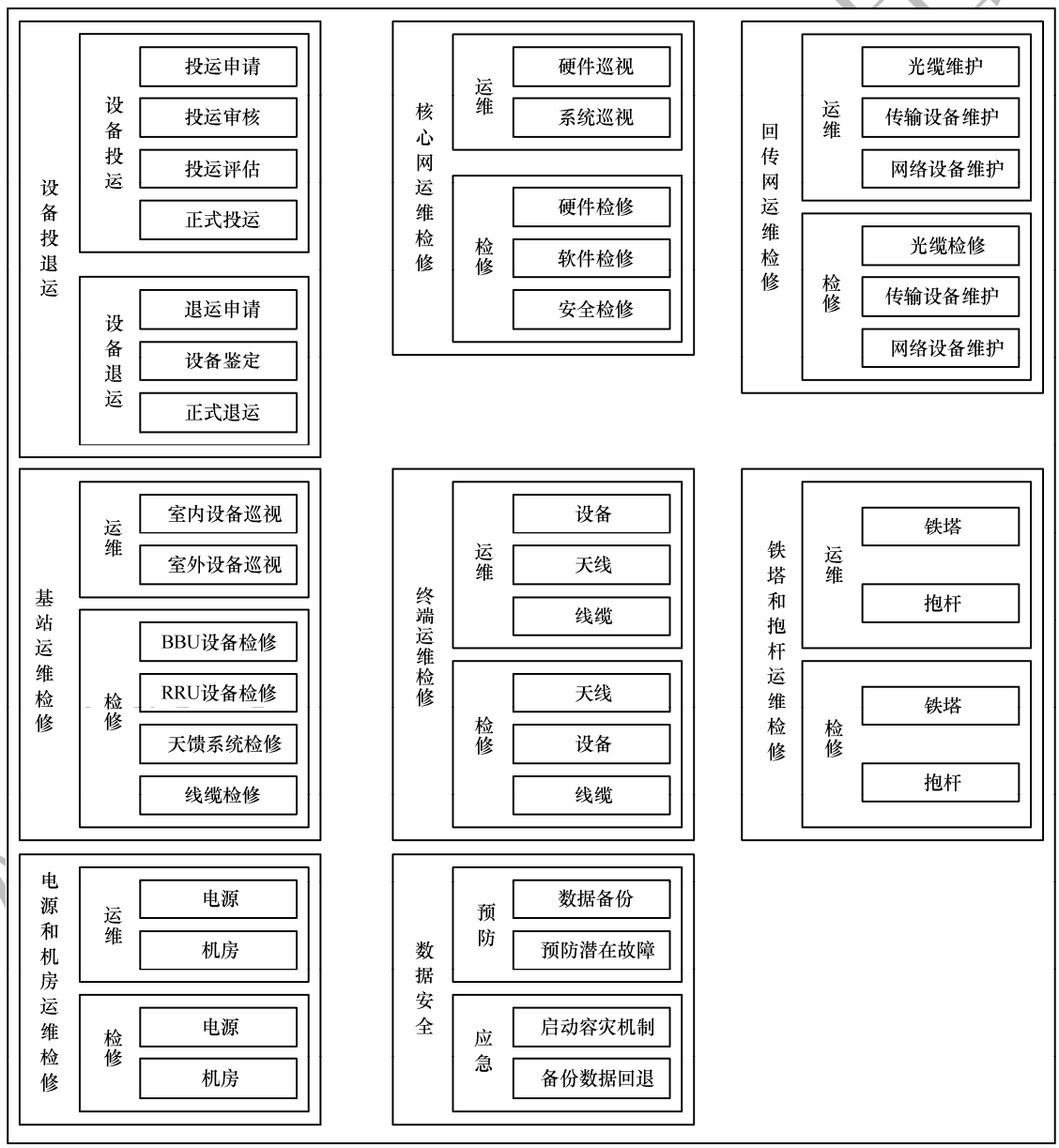


图 2 电力无线专网运维检修体系架构

网条件、入网时间进行审核，在规定时间内完成对新投入网设备的网管数据、性能统计、告警等信息的评估确认。业务评估包括：

- 核心网、基站、回传网等承载业务的设备入网，需要对无线专网性能指标进行测试，测试范围包括新投设备涉及站点及有邻区关系的站点，RSRP、SINR、上下行速率等应符合相关指标要求；
- 新投设备及与之相关的其他设备应无新增告警信息，且不应影响周边区域网络质量；
- 新投设备入网应尽量做到批量开通、集中入网，增强入网的计划性，减少入网的随意性；

待业务评估完成后，新投设备即可正式投入运行。

3.1.2 设备退运

退运无线专网设备应在规定时间内由设备退运单位向运维检修部门提交设备退运申请，经运维检修部门确认后即可正式退出运行。同时运维检修部门对退运的无线专网系统设备鉴定，对不符合再利用条件的鉴定为报废，满足再利用条件的则鉴定为可以再利用。

3.2 核心网运维检修

3.2.1 核心网运维

3.2.1.1 硬件巡视

核心网硬件巡视包括：

- 检查核心网设备运行状态是否正常；
- 检查机架机框单板有无损坏、变形；
- 设备端口有无明显缺陷。

3.2.1.2 系统巡视

系统巡视包括：

- 禁止采用 HTTP、Telnet 等明文方式；
- 检查核心网设备承载的多个 VPN 业务是否满足安全隔离要求。

3.2.2 核心网检修

3.2.2.1 硬件检修

单板设备检修应满足以下要求：

- 出现告警时，和网管部门联系确认，能在现场处理完毕的故障应及时消缺；
- 有主备配置的单板，进行业务倒换，倒换完成后观察故障恢复情况。

端口检修应满足以下要求：

- 在供电正常情况下，设备端口指示灯显示异常，同步配合网管检查设备端口告警及信息收发状态；
- 设备端口外观存在明显缺陷，有松动掉落现象，应及时更换端口。

3.2.2.2 软件检修

数据配置错误产生的故障检修应按以下方法处理：

- 沟通网管确认数据配置是否正确，应严格按照产品文档进行逐条检查；
- 检查发生问题的数据与历史备份数据的差异，协调网管修复错误配置。

软件 bug 产生的故障检修应按以下方法处理：

- 沟通网管确认问题现象是否与 bug 有关；
- 协助网管将数据重新配置解决问题；
- 报修后应及时获取解决问题的新版本或补丁。

3.3 回传网运维检修

3.3.1 回传网维护

回传网的维护包括：

- 光缆、光缆接续盒、光缆配线架及尾纤的维护；
- 光传输设备、同步时钟设备、数据配线架等的维护；
- 检查网络设备运行状态，检查设备风扇、电源是否正常。

3.3.2 回传网检修

回传网的检修包括如下内容。

- 光缆故障检修应按照“先抢通，后修复”原则。
- 传输设备检修：检查网管系统是否正常，各节点业务配置是否正确；检查设备性能监视功能，分析故障的原因。
- 网络设备检修：检查设备电源是否正常，必要时更换电源模块；通过设备指示灯状态，判断设备物理连接是否正常。

3.4 基站运维检修

3.4.1 基站运维

3.4.1.1 室内设备巡视

基站室内设备包括安装在机房内的 BBU 设备以及机柜等配套设施等，主要包括：

- 检查设备运行状态是否正常，是否有告警，各指示灯闪烁状态有无异常；
- 检查 BBU 设备 GE/FE 链路状态，并同步检查传输侧端口告警及信息收发状态。

3.4.1.2 室外设备巡视

基站室外设备包括 RRU 设备、天馈系统、电源转接模块以及光纤分配箱、走线架（槽、盒）等辅助设施，主要包括：

人民邮电出版社出版

- 检查室外主设备的告警状态，RRU 设备告警指示灯状态；
- 检查室外光纤分配箱、电源转接模块、走线架（槽、盒）等辅助设施的状态。

3.4.2 基站检修

3.4.2.1 BBU/RRU 设备检修

BBU/RRU 设备故障的检修：

- 确认板件运行状态、业务流量情况；
- 有主备配置的单板，进行业务倒换，倒换完成后观察故障恢复情况。

3.4.2.2 天馈系统检修

天馈系统的检修内容有：

- 如天线设备发生故障，应及时更换新的天线设备；
- RRU 至天线设备间的馈线故障，更换新的馈线。

3.4.2.3 线缆检修

线缆类故障主要有 BBU/RRU 设备电源线、BBU 至 RRU 之间光纤连接等的故障。检修过程应按以下方法处理：

- 检查 BBU/RRU 设备有无掉电情况；
- 检查线缆连接有无异常；
- 如光纤或网线故障，可先用临时线缆更换，排除故障。

3.5 终端运维检修

3.5.1 终端巡视

终端巡视包括如下内容。

- 终端设备巡视：检查终端设备电源接线是否正确，检查硬件有无破损；
- 天线巡视：检查天线是否生锈、连接是否牢固；
- 线缆巡视：检查线缆是否破损、连接是否松动。

3.5.2 终端检修

终端检修包括如下内容。

- 天线检修：如天线发生故障，应及时更换新的天线。
- 设备检修：如设备出现故障，及时进行更换。
- 线缆检修：线缆故障，更换线缆。

3.6 铁塔和抱杆运维检修

3.6.1 铁塔和抱杆运维

铁塔运维要求：检查地面基础质量；检查塔体垂直度情况；对于铁塔两侧引下线（避雷带），应检查各连接点的螺栓是否松动。

抱杆运维：检查抱杆根基固定强度；检查立杆抱杆及拉线桅杆的连接地锚预紧力是否平衡是否有锈蚀部件。

3.6.2 铁塔和抱杆检修

铁塔的检修：对垂直度超标塔体及时进行垂直度校正；对歪斜天线支架进行调整等。

抱杆检修：发现立杆、抱杆及拉线桅杆的连接地锚异常及时紧固和调整。

3.7 电源和机房运维检修

3.7.1 电源和机房运维

电源运维：应定期巡视，对于室外一体化机柜/机箱电源，还应定期检查输入电源端子有无松动，输入电源电压是否正常。

机房运维：检查空调、封堵、防水、防雷、动力环境监控和机房环境保护控制措施、机房接地电阻等是否满足相关规定要求。

3.7.2 电源和机房检修

电源检修：电源巡视检查中发现的故障、缺陷或隐患应及时安排检修，包括整流模块更换、电源工作接地和防雷接地检修等。

机房检修：机房巡视检查中发现的故障、缺陷或隐患应及时安排检修，包括机房动力环境监控故障处理、空调设备维修与更换、机房封堵、防雷接地等。

3.8 数据安全

3.8.1 数据安全预防

在进行网元数据变更等重大网络调整时，操作前应对网元数据进行备份并核查，操作完成后应对网络性能进行评估和确认。

对设备网元数据操作日志及历史告警日志进行月度核查，分析设备潜在隐患，预防网络突发故障。

3.8.2 数据安全应急处理

如电力无线专网发生重大故障时，调度部门应进行故障分析定位，采取应急措施，如启动容灾机制、进行备份数据回退。

4 结束语

针对目前电力无线专网整体处于试点建设阶段，尚未对业务管理与运维检修展开较为系统和深入的研究，提出了一种电力无线专网业务管理与运维检修体系架构，为电力无线专网建成后的运行、管理与维护工作提供了一种思路与架构，具有重要的意义。

人民邮电出版社出版

参考文献：

[1] YAN Y, QIAN Y, SHARIF H, et al. A survey on cyber security for smart grid communications[J]. IEEE Communications Surveys &Tutorials, 2012, 14(4): 998-1010.

[2] LISERRE M, SAUTER T, HUNG J Y. Future energy systems，integrating renewable energy sources into the smart power grid through industrial electronics[J]. IEEE Industrial Electronics Magazine, 2010, 4(1): 18-37.

[3] 辛培哲, 蔡声霞, 邹国辉, 等. 适应经济社会发展的智能电网发展战略研究[J]. 分布式能源, 2018(1): 21-27.

[4] 代业明, 高红, 伟高岩, 等. 具有电力需求预测更新的智能电网实时定价机制[J]. 电力系统自动化, 2018(12): 58-63.

[5] ZANELLA A, BUI N, CASTELLANI A, et al. Internet of things for smart cities[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2014, 1(1): 22-32.

[6] YUN M, XIN B Y. Research on the architecture and key technology of internet of things (loT) applied on smart grid[C]//International Conference on Advances in Energy Engineering(ICAEE), 2010: 69-72.

[7] 张玉清, 周威, 彭安妮. 物联网安全综述[J]. 计算机研究与发展, 2017(10): 2130-2143.

[8] 陈海明, 石海龙, 李勐, 等. 物联网服务中间件: 挑战与研究进展[J]. 计算机学报, 2017(8): 1725-1749.

[9] LIU JM, LI XZ, CHEN X, et al. Applications of internet of things on smart grid in China[C]// Internet Conference on Advanced Communications Technology(ICACT), 2011: 13-17.

[10] 荆孟春, 王继业, 程志华, 等. 电力物联网传感器信息模型研究与应用[J]. 电网技术, 2014(2): 532-537.

[11] 刘建明, 赵子岩, 季翔. 物联网技术在电力输配电系统中的研究与应用[J]. 物联网学报, 2018(01): 88-102.

[12] 曹扬, 魏畅. 基于效用函数的电力物联网异构网络接入 QoS 保障方法[J]. 南方能源建设, 2017(1): 87-91.

[13] 孟洛明, 孙康, 韦磊. 一种面向电力无线专网的虚拟资源优化分配机制[J]. 电子与信息学报, 2017(7): 1711-1718.

[14] 冯宝, 马涛, 蔡世龙. TD-LTE 电力无线专网中射频失配下 MIMO 功率分配算法[J]. 电信科学, 2018(3): 177-182.

[15] 曹津平, 李伟, 张翼英. 一种应用于电力无线专网的基于信任度的协作频谱感知算法[J]. 电信科学, 2015(3): 143-148.

[16] 郑学明. 基于TD-LTE的电力无线专网组网与安全防护技术研究[J]. 电子设计工程, 2017(7): 83-86.

[17] 李金友, 闫磊, 齐欢, 等. 基于 LTE230 系统的电力无线通信专网研究与实践[J]. 电气技术, 2014(1): 132-134.

人民邮电出版社出版

电力系统可视化运维技术设想

陈智雨[1]，巩少岩[2]，谢磊[1]，葛冰玉[1]，史睿[1]，闫珺路[1]
（1. 国家电网公司信息通信分公司，北京 100761；2. 全球能源互联网研究院有限公司，北京 102209）

摘　要：随着电力行业信息化建设规模不断扩大，大量可视化业务系统被搭建以提高企业的运维效率。可视化运维可以对系统产生的大量数据进行针对性的直观展示，可以为后续运维人员分析节省时间成本和提高隐患的发现效率。针对电力实际运营场景，对相关的可视化运维技术进行了分析和设想，以期通过相关的研究内容支撑电力行业运维技术的发展，进一步简化运维工作，提升运维服务质量。

关键词：信息化；可视化；运营场景；运维服务

1　引言

随着计算机视觉技术的不断发展，多媒体技术在电力系统中的应用越来越广泛，促进了可视化电力系统的运营系统的发展。本文主要分析如何借助图像处理技术提高自动化运维的效率。当前社会处于一个信息爆炸的时代，人类获取的信息很大一部分是依靠视觉。传统的可视化运营系统主要依赖于人眼的视觉系统，主观地对当前信息进行分析，人眼疲劳导致判断不精确而且运营人员成本高。电力系统故障很多时候具有瞬时性和难以观察性。然而，利用图像处理技术可以快速地保存事发时的状况，并且可以形象地表示出电力设备的物理量或者运行状态，能够及时发现异常现象和潜在故障[1]。

由于传统的视频监控系统需要人工监看录像，监控性能受到监控者本身的生理因素的制约。有研究表明，人盯着屏幕看 3 个小时后，注意力将降低 70%。随着我国电网规模迅速增长，业务运行部门承担了越来越多的系统及设备巡视维护工作量，急需用先进的技术来帮助维护人员提高工作效率。图像处理技术借助计算机强大的数据处理功能，对视频画面中的海量数据进行高速分析，过滤掉运维人员不关心的信息，只为监控者提供有用的关键信息。能够大大减轻视频监控人员的劳动强度，同时可以减少误报漏报，还可以提高报警处理的及时性。图像监控系统应用的范围非常广，最常见的是对民宅、停车场、公共场所、银行等的监控，以防止偷盗、破坏行为的发生，保障社会安全。近年来图像处理技术在电力设备系统监控上也有大量应用，通过分析图像的变化情况，实现了对变电站的自动监控。因此，借用图像处理技术能够有效地促进电力系统安全稳定的运营[2-4]。

电力系统运维过程中，图像信息受图像采集设备、外界环境和数据传输环境等多种因素的干扰。因此，如何获取到高质量的巡检图像成了一个关键的问题。本文主要从以下几种情况进行分析：电力设备图像去噪、多焦点巡检图像融合、多曝光度巡检图像融合、无人机巡检图像去模糊、无人机巡检图像拼接以及基于图像处理技术的电力行业 Web 兼容性测试。

2　电力图像去噪

在电力通信机房视频监视过程中，由于系统运行环境的原因，视频图像采集装置采集到的视频图像存在劣化的情况。一般情况下，采集到的视频图像在信息采集端、传输过程及接收端都会受到不同程度的干扰，主要受两种噪声的影响：第一种是由于机房中存在电磁感应和电路中电流/电压变化等，容易产生高斯噪声，对采集到的视频图像质量产生影响；第二种情况是监视装置处于低亮度环境中导致泊松噪声使得图像偏暗并且伴随泊松噪声。在强光条件下，基本不受泊松噪声的影响，然而在弱光条件下，采集到的图像会丢失字节信息。图像受高斯噪声影响时，每个区域的噪声强度是相同的，服从高斯分布。图像受泊松噪声污染时，每个像素点的噪声强度并不一致，跟光的强度有很大的依存关系，服从泊松分布。因此，泊松噪声的去除较高斯噪声要更复杂[5]。

现有的图像处理技术主要分为在空域和频域中对图像进行重构操作。在现有空域中处理可以有很好的

人民邮电出版社出版

平滑效果，但是对细节的信息处理能力不如频域强。而传统的频域变换是在水平方向和垂直方向分别进行处理的，不能完好地处理图像中存在倾斜方向的细节信息。因此，提出采用方向性小波变换对被劣化的视频图像进行去噪处理，获取高质量的视频图像，为后续分析提供更精确可靠的图像信息。图 1 展示了图像的小波分解结果，通过对分解后的数据进行去噪处理可以获得高质量的图像。图 2 展示了被不同噪声劣化的情况下，图像的复原结果。

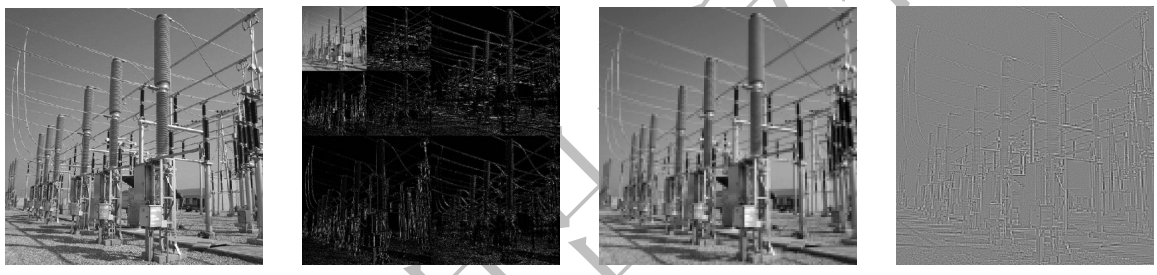
3 电力多焦点图像融合

限于现有消费级摄像头工作机制的不足，设备进行拍摄时很难对取景框里的所有目标进行对焦。从获取到的图像可知，对焦的目标是清晰的，没有对焦的目标则是相对模糊的。因此，如果想要对监视范围内的所有目标进行观察，则需要对不同的地方进行对焦拍摄，影响了对设备的分析效率。在无人机巡检、机房监控以及线路覆冰监测等场合，采用多焦点图像融合方法生成全焦图像，提高对在运设备状态分析的效率，节省运维成本。图 3 展示了电力多焦点图像融合过程[6]。

4 电力多曝光图像融合

由于拍摄环境的多样性和复杂性，图像采集装置获取到的图像表达的信息不清晰。在可见光的场合，曝光过大时，很多细节显示不清楚；曝光不足时，图像偏暗，无法对图像进行准确分析。在实际应用过程中，图像需要具有完整的设备的近似信息和详细的细节信息[7]。

在光线不足的情况下，通过采用伪 HDR 技术，



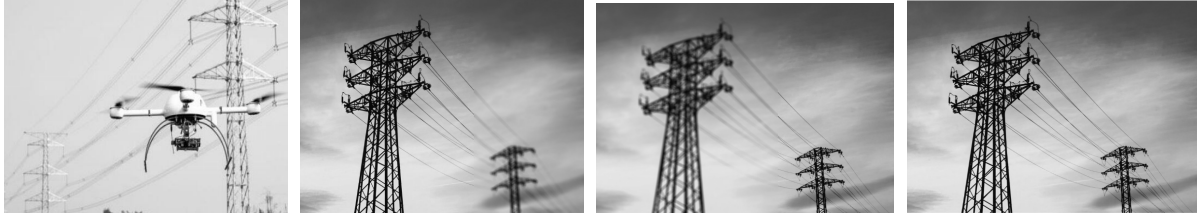
(a) 原图像　(b) 二层小波分解　(c) 近似图像　(d) 细节图像

图 1　图像小波分解



(a) 高斯噪声图像　(b) 复原图像　(c) 泊松噪声图像　(d) 复原图像

图 2　不同噪声污染图像复原



(a) 无人机巡检　(b) 焦点在前面　(c) 焦点在后面　(d) 焦点融合图像

图 3　多焦点图像融合

对暗的图像进行处理，获取到近似高动态范围的图像，呈现了尽可能多的有利于后续分析设备状态的细节信息。其主要过程为：首先对采集到的图像进行过曝光和低曝光处理；然后对得到的多幅图像进行融合权值计算；最后联合权重系数融合多幅不同曝光度的图像生成伪 HDR 图像。图 4 展示了电力多曝光图像融合。

5 电力图像去模糊

随着电网特高压线路不断建设，很多在运线路坏境极端恶劣，对线路运维造成了很大的困难。针对运维环境恶劣的状况，无人机巡检技术被引入线路巡检环节。然而，外面环境（风、雨、雪等）可能会造成无人机携带的图像采集装置拍摄时的抖动，致使获取到的图像模糊。为了进一步提高无人机巡检的效率，对获取到的图像进行去模糊处理，提高图像的清晰度，便于后续分析[8]。图 5 展示了在运绝缘子图像去模糊。

6 电力全景图像拼接

越来越多的可视化系统被用于电网运营（视频监控、视频会议）。可视化系统的应用极大地节约了企业运营的成本，并且提高了运转的效率。为了更直观更全面地了解情况，图像全景技术被引入。广角镜头可以获取很宽的拍摄范围，但是很多细节的清晰度不够。因此，全景图像拼接技术被提出，对运营整体情况进行展示，具有很好的视觉渲染力。图 6 展示了无人机巡检全景图像拼接[9]。



(a) 原图像　(b) 过曝光图像　(c) 低曝光图像　(d) 伪 HDR 图像

图 4　多曝光图像融合



(a) 拍摄图像 1　(b) 拍摄图像 2　(c) 拍摄图像 3　(d) 拍摄图像 4



(e) 图像 1 去模糊　(f) 图像 2 去模糊　(g) 图像 3 去模糊　(h) 图像 4 去模糊

图 5　在运绝缘子图像去模糊



(a) 部分图像 1



(b) 部分图像 2



(c) 部分图像 3



(d) 部分图像 4



(e) 全景图像

图 6　全景图像拼接

7　电力 Web 应用兼容性测试

随着电网 2.0 项目的建成，电力行业建成了全球规模最大的企业级一体化信息通信网络，形成覆盖电网各个环节的通信网络体系。随着互联网技术的快速发展，各种各样的电力 Web 应用系统被搭建，用以提高电网业务运营效率。基于浏览器/服务器（browser/server，B/S）架构的 Web 业务应用，不需配置客户端，只需通过浏览器接入系统。对于系统维护，运维人员只需在服务器端操作，有效地节省了运维成本，提高了系统的运行效率[10]。

目前，95598 智能互动网站、电子商务平台、电网商城以及电动汽车等众多业务系统被搭建。由于系统用户范围广，同时各系统由不同的软件厂商开发，对操作系统、浏览器版本和系统配置的兼容性不够。实际工作中，不论是一台终端连接多个业务系统，还是不同的终端接入同一业务系统，业务系统与终端之间都存在兼容性的问题，影响电力业务的稳定运行。通常，用户需根据不同的业务系统对浏览器类型、浏览器版本或计算机环境参数等进行调整，导致用户办公非常不便，严重影响用户体验。用户体验的优劣受操作延迟、兼容性、界面设计和交互方式等因素影响，其中操作延迟及兼容性是用户体验问题最突出和关注的两点。

Web 应用兼容性问题除了考虑功能上的缺陷，还需考虑显示变形和按键错位等现象。传统的电力行业浏览器兼容性测试主要依赖于测试人员对不同浏览器进行主观分析，需要较高的人力成本。为了提高测试

效率和节省测试成本，基于图像相似度的浏览器兼容性测试技术（ISCT）被提出。该方法采用自动化脚本同时对不同测试节点上部署的浏览器进行兼容性测试。通过系统自动截取显示图像，并评估与参考图像之间的相似性，可以快速获取高精度的测试结果。

针对电力业务 Web 应用地测试，考虑到不同浏览器展现的页面存在变形和位移，本文提出采用结构特征评估页面显示的准确性。考虑到 PC 计算时间较长，从实际应用的角度提出一个新的特征量替代传统的评估指标（相位一致性），在满足测量评估需求的前提下，减少计算时间和内存消耗。图 7 展示了 Web 应用图像特征的提取。图 8 展示了电力 Web 应用兼容性不足的界面。

通过实验结果分析，图 8（b）~图 8（d）的相似



(a) 原图像　　(b) 结构相似性特征提取后

图 7　结构相似性特征提取



(a) 正常界面　　(b) 非正常界面 1



(c) 非正常界面 2　　(d) 非正常界面 3

图 8　电力 Web 应用兼容性不足的界面

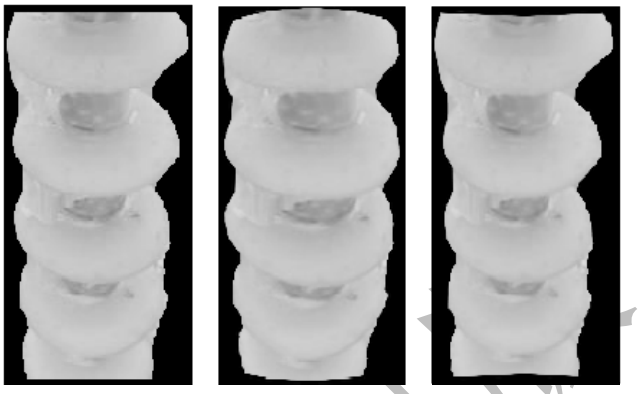
性分别为 0.973 4、0.839 2 和 0.914 2。通过实验数据分析可以得出：

- 相关性>0.97 不影响 Web 应用的正常使用；
- 相比较传统的特征相似性方法，内存消耗节省约 50%；
- 运行速度提升了 52.1%~71.5%。

8 电力设备外观监测

电力系统图像监测技术是结合图像技术和通信技术对电力设备运行状态进行远程监控的技术。基于图像处理的远程数字图像监控系统是将远程控制采集到的数字图像信号，实时传送到监控中心的图像处理服务器，并根据预设的需求对采集到的数字视频图像进行自动化分析和处理。系统分为远程数字图像采集系统和数字图像处理系统两部分，随着信息通信技术的发展，两者出现的问题可以作为整体进行考虑。该技术应用于电力行业，主要是通过图像采集系统对在运设备进行监测，运用图像处理技术对电力设备标准图像和监测画面进行特征比对分析，获取设备的运行状态、运行环境等现异常信息，如变电站开关变位、电塔倾斜、仪表指针变化、绝缘子污垢/覆冰、电塔倾斜和设备过热形变等，实现电力系统的高度自动化无人值守，为运维监测提供了新的手段和可靠依据，有效节约系统运维成本。图 9 展示了设备获取到的在运绝缘子图像之间的差异[11]。

图像采集装置所采用的传感器、光学系统和数码相机内部图像处理器的不足，导致数码图像与真实拍摄环境存在差异。对解决这种类型的图像失真或者像差，需要从设备的运行结构上分析，通过图像处理系统对采集到的设备图像进行后期校正。图像失真的程度依赖于采集系统采用的元器件的精度和集成系统的工作原理，失真程度低的图像采集设备伴随着高成本。



(a) 无失真图像　(b) 桶形失真　(c) 枕形失真

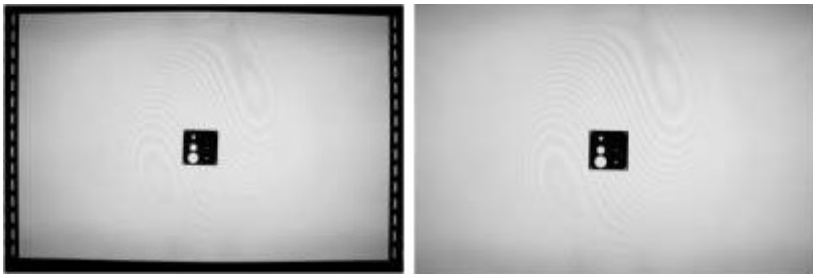
图 9　在运绝缘子覆冰图像失真

实际工程中，图像采集设备多数采用消费级的摄像头，限于镜头的工作方式，获取到的图像与实际的图像存在偏差。在正常拍摄条件下，数码相机镜头边缘部分的放大率与中心部分放大率不一致引起图像畸变，主要分为桶形畸变和枕形畸变。桶形失真是由光线的倾斜度大引起的一种成像缺陷，像点会随着与中心点距离之增大而移位。图像桶形失真中的直线中间段向外弯曲，两端则向中心弯曲，形成四角向内收缩，边线中段则向外凸出。普通消费级数码相机的桶形失真率通常为 1%。枕形失真是由镜头引起的画面向中间“收缩”的现象，使用长焦镜头或使用变焦镜头的长焦端时，容易出现枕形失真现象。普通消费级数码相机的枕形失真率通常为 0.4%。图 10 展示了图像采集系统获取到的畸形图像，图 10(b)和图 10(c)中的铁塔垂直线分别向外凸出和向内凹进。



(a) 原图像　(b) 桶形失真　(c) 枕形失真

图 10　图像失真



(a) 校正前　　(b) 校正后

图 11　器件图像校正

本文结合电力行业设备状态监测的高精度性、异常反馈及时性、降低运行维护成本等需求，提出了一种基于消费级数码相机的远程监控方案。提出的方案结合网络摄像头和 POC 技术，有效地解决了专用高精度图像采集系统成本高、设备配置复杂以及传统消费级图像采集设备存在图像失真等问题。图 11 展示了对设备部件图像进行校准。

9　结束语

电网在运设备的图像在线监测系统是智能电网信息化的重要组成部分，可以获得在运设备的运行状态信息，有力保障电网的稳定运行，考虑到现有系统的图像处理技术的智能化程度不够，易受工作人员的主观因素影响，制约了电网的智能化建设。通过结合实际运营系统的相关图像，采用图像处理、计算机视觉、模式识别、机器学习等多学科相结合的方法进行研究，旨在为电网运营设备状态检测与故障诊断提供技术支撑。

本文通过对电网设备监测图像处理技术进行分析，搭建有效的分析模型对在运设备进行图像监测，并利用图像处理技术提供更精确的状态信息。具体目的和意义如下。

- 清晰展示，及时处理。视频会议、监控屏幕、无人机巡检等图形信息采集和传输时，由于电路电压的变化容易对图形信息产生干扰。针对这些因素，系统构建相应的模型，高清晰度复原现场图像信息，对接收端后续操作提供有效的画面信息。
- 掌控细节，精准处置。图像处理系统以全焦点监控事件为目标驱动，有的放矢地关注细节，将监测全局和细节把控有机结合，实现全焦点捕捉所关注的目标细节。
- 智能处理，高效分析。突破传统的依靠人眼进行 Web 应用兼容性测试，有效地避免运维人员因视觉疲劳导致的漏判，通过标准界面与提取界面特征相似度的计算，快速判别浏览器的兼容性问题。
- 精密监测，防患于未然。电网运行环境的多样性和复杂性对部件有着极高的要求。由于电力设备在环境的影响下存在变形或者出厂的时候存在误差，依靠运维人员手工检查需要大量的检查成本。通过采用图像判别技术，可以通过遥视技术进行监测并将评估结果返回给运维人员，可以有效节约运维成本和提高监测效率。

参考文献：

[1] 郝少华, 李勇, 张铁峰, 等. 新一代智能变电站通信网络及管理系统方案[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(17): 148-154.

[2] 秦红霞, 武芳瑛, 彭世宽, 等. 智能电网二次设备运维新技术研讨[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 35-40.

[3] 刘俊文, 崔硕, 李晓勐, 等. 基于海量实时监控数据的服务影响分析及可视化展现[J]. 电信科学, 2018, 34(3): 192-196.

[4] 李莉, 朱永利, 宋亚奇. 电力设备监测数据的流式计算与动态可视化展示[J]. 电力建设, 2017, 38(5): 91-97.

[5] 周封, 任贵新. 基于颜色空间变量的输电线图像分类及特征提取[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(5): 89-98.

[6] 罗洋坤. 基于车联网图像的多焦点融合去噪技术的研究[J]. 软件, 2018, 39(2): 47-51.

[7] 张淑芳, 刘孟娅, 韩泽欣, 等. 基于 Retinex 增强的单幅 LDR 图像生成 HDR 图像方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2018, 30(6): 1015-1022.

[8] 艾建勇, 金立军. 基于紫外图像的接触网棒瓷绝缘子污秽状态检测[J]. 电工技术学报, 2016, 31(10): 112-118.

[9] 张旭, 高佼, 王万国, 等. 基于显著图的输电线路杆塔图像拼接方法[J]. 计算机应用, 2015, 35(4): 1133-1136.

[10] 陈智雨, 汪明, 巩少岩, 等. 电力行业 Web 应用兼容性测试[J]. 电力信息与通信技术, 2017, 15(6): 61-67.

[11] 高雨翔, 黄奇峰, 蔡奇新. 基于图像处理技术的电能表外观检测系统[J]. 计算机测量与控制, 2016, 24(1): 71-73.

人民邮电出版社出版

电力线载波与无线融合通信链路感知组网算法

王立城，霍超，刘雨峰，侯莹莹，苑佳楠
（北京智芯微电子科技有限公司，北京 102200）

摘　要：电力线载波与无线融合通信技术有效地提高了电力终端通信可靠性，但也存在网络拓扑的复杂性问题。为了解决该问题，首先对电力线载波与无线融合通信网络模型进行了分析，提出了一种基于链路感知一致性的 PLC 与微功率无线融合通信组网算法。算法将 PLC 与无线的链路感知以及节点连通度相结合进行组网与拓扑优化，实现了融合通信网络的分级分簇组网。以智能配用电通信业务作为典型应用场景，对所提出的算法进行仿真验证。仿真结果表明，所提出的算法能有效提高组网效率，并保证了电力终端业务的通信成功率。

关键词：电力线载波通信；微功率无线；融合组网；智能电网

1　引言

能源互联网与智能电网的发展、能源与信息通信深度融合将引领能源传输、能源转换和能源控制等领域的巨大变革[1-2]。面向智能配用电的终端通信网络在满足能源互联新业务对高带宽、高可靠性的数据采集与传输要求的同时，各种通信技术的结合程度更为紧密。

随着能源互联业务的应用不断深化，先进的电力终端通信技术发挥了重大的推动作用。面向能源互联网的终端通信接入网技术及其深化应用取得了一定的成果。电力终端通信技术主要包括宽/窄带电力线载波通信、微功率无线通信、电力无线专网及电力 EPON（Ethernet passive optical network，以太网无源光网络）等技术[3-6]。其中，电力线通信技术与无线通信技术具有良好的互补性，两者的紧密结合有效提高了配用电终端通信业务的覆盖性和可靠性。电力线信道与无线信道的差异性不仅增加了两种通信方式的集成难度，也使得电力线与无线融合通信组网的更为复杂，给融合通信系统的性能造成一定的影响。因此，电力线与无线融合通信组网算法显得尤为重要。

针对电力线通信与微功率无线通信的可靠性问题，当前的研究主要分为两个方面：增强物理层通信能力和优化网络性能。参考文献[7]提出了基于非交叠分簇算法的通信组网和重构算法，该算法能适应信道质量的实时变化进行自动组网，逻辑通信链路破坏时有一定的自愈能力；参考文献[8]提出的基于受限洪泛和分级的组网算法，可有效提升通信稳定性和通信效率。参考文献[9]针对低压电力线载波静态和动态两种组网方式进行对比，指出动态组网的现场适用性和绝对优势。参考文献[10]提出了一种基于通信信号“信噪比”的简单且具有较高可靠性的自动组网方法，能够有效减小节点之间的“通信距离”，并能找到多条通信路径，但其假设网络的信道质量不变，不符合现场实际情况，且基于轮询的组网方式导致网络收敛时间过长。上述方法难以满足电力业务对电力线与无线融合通信接入网的要求。因此，可靠高效的融合通信组网技术有待进一步深入研究。为此，本文提出了一种基于链路一致性的融合通信组网算法，将 PLC（programmable logic controller，可编程逻辑控制器）与无线的链路一致性以及连通度相结合进行组网与拓扑优化，实现融合通信网络的分级分簇组网。

2　电力线与无线融合通信

由于电力线与无线通信在物理层基本彼此独立，双模融合通信网络必须在 MAC（media access control，介质访问控制）层进行优化融合。目前，电力线与无线融合模型主要有 2 种实现方式：独立 MAC 层融合与统一 MAC 层融合。

独立 MAC 层的电力线载波与无线融合方案主要实现了 PLC 与无线网络层的融合，PLC 与无线 MAC 层的硬件简单集成，协议独立；网络层共用 MCU（micro controller unit，微控制单元），采用协议转换与混合自组网技术进行融合，对融合通信网络进

人民邮电出版社出版

行一定的资源管理与调度，从而提高整个网络的可靠性。统一 MAC 层的融合方案特点是 PLC 与无线 MAC 层采用统一的通信机制，无线及 PLC 传输信号首先需要进行动态频谱检测。检测后的信号通过 Turbo 码进行纠错编码，可以有效减少码间干扰，然后将 2 种方式的 MAC 层进行融合，实现多节点多模式的联合信道评估，并对 2 种信道进行比较，建立统一的 MAC 层架构。

统一 MAC 层融合方式的优点是可有效避免异构网络 MAC 层之间的协议转换，有利于实现统一的资源调度、接入控制、网络管理等策略，提高整个接入系统的 QoS（quality of service，服务质量）保障。

3 基于链路感知的融合通信组网算法

为了解决上述的融合通信系统组网难题，本文结合链路一致性和节点连通度的方法，提出并设计了一种基于链路感知一致性的融合通信网络组网算法。

3.1 网络分级

在 PLC 与无线融合通信网络中，中心节点（集中器）为 R_0 级节点，则定义 R_i（i=1,2，…，L）为能与 R_{i-1} 级节点直接通信的下级节点。网络分层首先由 R_0 级的中心节点发起，搜索其下级节点。之后由 R_1 级节点搜索 R_2 级节点，依次类推，直到 R_L 级节点无下级终端节点，则完成网络分级。PLC 与无线融合网络的初始分级过程描述如下。网络分级示意图如图 1 所示。

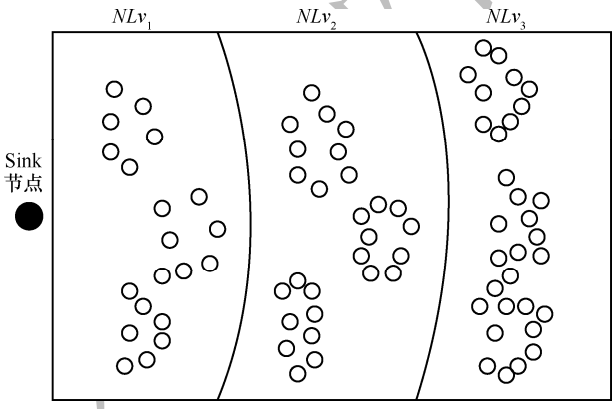


图 1 网络分级示意图

步骤 1 中心节点同时从 PLC 和无线信道广播网络搜索信令，信令携带本节点号 ID，本级数 R_i；

步骤 2 终端节点接收到网络搜索信令，则提取上级节点 ID，上级数 R_i，并从 PLC 与无线信道获取各自的信噪比 SNR_{PLC} 与 $SNR_{Wirless}$；

步骤 3 若终端节点自身级数大于 R_{i+1}，则将其级数设置为 R_{i+1}；

步骤 4 终端节点记录新接收到的上级节点信息，包括上级节点 ID、上级数 R_i、信噪比 SNR_{PLC} 与 $SNR_{Wirless}$，并从 PLC 与无线信道向其上级节点（R_i 级）发送应答信令；

步骤 5 R_i 级节点收到 R_{i+1} 级节点的应答信令，提取并记录其下级节点 ID、下级数 R_{i+1}、信道的信噪比 SNR_{PLC} 与 $SNR_{Wirless}$；并向下级节点发送确认信令；

步骤 6 R_{i+1} 级节点接受到确认信令，则本节点完成分级，并向其下级节点广播网络搜索信令；

以此类推，直到网络所有节点都完成本级网络分层。

3.2 分簇组网

网络划分成多个层级之后，接下来每一层级内的节点选举出 PLC 和无线链路质量高且连通度好的节点作为簇首，再以其作为核心进行分簇组网。

步骤 1 各节点设置其簇首竞争周期，通过 PLC 和无线信道同时广播簇首竞争消息。

步骤 2 节点收到的其他节点的簇首竞争信息，只记录与其同一层级节点的信息。

步骤 3 节点在簇首竞争周期结束时，计算其簇首竞争值，引入式（1）；

$$V=\alpha\cdot D+\beta\cdot\frac{1}{D}\left(\sum_{i=1}^{D}\frac{SNR_{PLC}+SNR_{Wireless}}{2}\right) \tag{1}$$

其中，D 为节点连接度，α 和 β 为权重因子，n 为邻居节点的总数，m 为信噪比大于阈值的邻居节点数，α 和 β 取值满足式（2）的限制条件：

$$\begin{cases}\alpha+\beta=1\\ \alpha=m/n\end{cases} \tag{2}$$

步骤 4 同层级节点之间相互广播其簇首竞争值。

步骤 5 如果其他邻居节点的竞争值没有高于本节点，则本节点设置自己为簇首节点，并在本层级广播建簇信令；否则本节点为普通节点，并向竞争值最高的簇首节点发送申请消息，加入该簇。

步骤 6 簇首节点向上一级的簇首节点发送中继请求消息，之后上一级簇首节点向该簇首节点发送中继确认消息。

步骤 7 簇首节点从中继确认消息中提取 SNR_{PLC} 和 $SNR_{Wireless}$，根据式（3）从上一级簇首节点中选择簇间中继节点，并向中心节点发送组网申请消息，包含本簇所有与成员节点信息。

$$W = \mathrm{MAX}\left(\frac{\mathrm{SNR}_{\mathrm{PLC}} + \mathrm{SNR}_{\mathrm{Wireless}}}{2}\right) \quad (3)$$

步骤 8 依次类推，直到最后层级簇首节点的节点完成组网申请。

网络分簇示意图如图 2 所示。

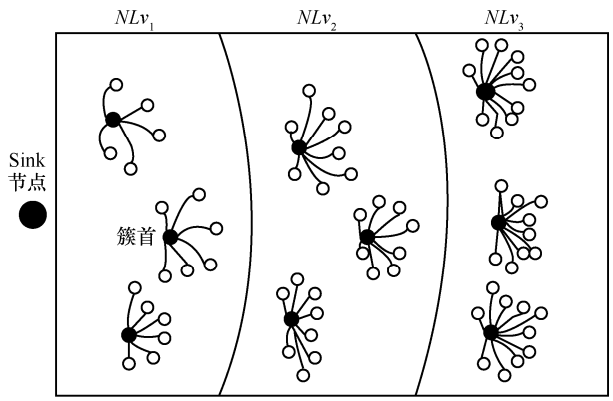


图 2 网络分簇示意图

3.3 复杂度分析

复杂度是评价组网算法性能的关键指标之一。因为本文算法在拓扑结构以及组网过程保持 PLC 链路与无线链路二者的一致性，并且无需额外的复杂计算，也不需要对组网信令消息复杂的扩展，所以本文提出的融合通信组网算法与分交叠分簇算法相比，其网络复杂性并无明显增加。

4 仿真结果与分析

为了验证本文提出的光网络信令安全交互技术，本文以智能配用电业务作为典型应用场景，从组网周期、网络时延、通信成功率等方面，对本文提出的融合通信组网算法进行仿真评估。仿真环境采用 MATLAB 仿真软件构建，网络规模为 50~250 个节点。

组网总体性能见表 1。表 1 显示采用本文算法和非交叠分簇算法进行组网，在总体性能上本文算法拥有明显的技术优势。

表 1 组网算法总体性能比较

算法	组网周期/min	组网规模	组网深度
非交叠分簇算法	60	300 个节点	7 级
本文算法	30	1 000 个节点	15 级

通信成功率是融合通信网络性能的核心指标之一，直接决定其在智能配用电通信中的应用效果和业务质量。本文算法和非交叠分簇算法的通信性能如图 3 所示，其中 Case_1 为本文算法，Case_2 为非交叠分簇算法。随着网络规模的扩大，网络节点数的增加对两种算法的通信成功率都有着不同程度的影响。其中，本文算法仍然保持着较高的稳定性和通信成功率，而对比算法的通信成功率呈明显的下降趋势。

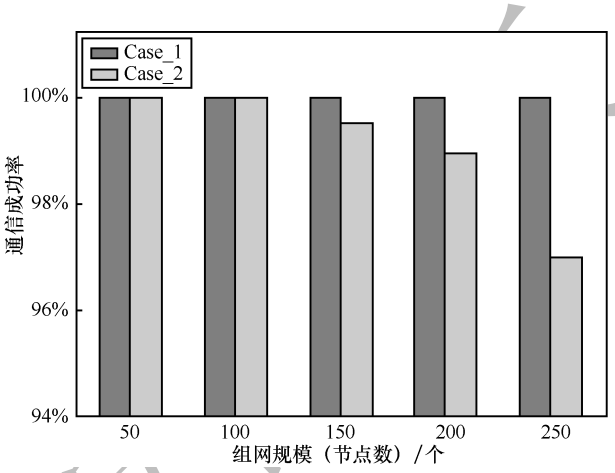


图 3 通信成功率比较

电力线载波与无线信道的融合互补有效提高了通信质量，而本文的组网算法在此基础上进一步提高了通信成功率，有效保证了融合通信网络在配用电应用中的业务质量。

5 结束语

本文为了解决电力线载波与无线融合通信网络拓扑的复杂性问题，提出了一种基于链路感知的组网算法。该算法将 PLC 与无线的链路质量感知以及连通度相结合进行组网与拓扑优化，实现 PLC 与无线融合通信网络的分级分簇组网，设计了较为实用可行的组网算法实现流程。仿真结果表明本文提出的算法能有效地降低多模融合通信网络对智能配用电业务交互的复杂性，并保证了融合通信接入网的高可靠性。

参考文献：

[1] FANG X, MISRA S, XUE G, et al. Smart grid - the new and improved power grid: a survey[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2012, 14(4): 944-980.

[2] FADAEENEJAD M, SABERIAN A M, FADAEE M, et al. The present and future of smart power grid in developing countries[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2014, 29(7): 828-834.

[3] TONELLO A M, PITTOLO A. Considerations on narrowband and broadband power line communication for smart grids[C]// IEEE International Conference on Smart Grid Communications. Piscataway: IEEE Press, 2016: 13-18.

[4] VARMA M K, JAFFERY Z A, IBRAHEEM. Advances of broadband power line communication and its application[C]// India Conference, January 28-31, 2016, Bangalore, India. Piscataway: IEEE Press, 2016: 1-6.

[5] LI N, ZHOU Y, WANG X, et al. Performance analysis of OFDM systems in broadband power line communication[C]// International Conference on Wireless Communication and Sensor Network, December 10-11, 2016, Wuhan, China. [S.l.:s.n.], 2016: 379-384.

[6] LI H, WANG K, LI S, et al. Cluster based dynamic routing on powerline carrier network[C]// International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, September 24-26, 2009, Beijing, China. Piscataway: IEEE Press, 2009: 3548-3551.

[7] POUDEREUX P, ÁLVARO HERNÁNDEZ, CRUZ-ROLDÁN F, et al. FPGA-based architecture for medium access techniques in broadband PLC[J]. IEEE Access, 2018, 6(99): 9534-9542.

[8] ZHANG L, LIU X, ZHOU Y, et al. A Novel Routing algorithm for power line communication over a low-voltage distribution network in a smart grid[J]. Energies, 2013, 6(3): 1421-1438.

[9] PACHECO F, PINHO L M, TOVAR E. Queuing and routing in a hierarchical powerline communication system[C]// IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, September 19-22, 2005, Catania, Italy. Piscataway: IEEE Press, 2006: 8-66.

[10] YANG J, WANG D, PAN K. A route searching algorithm of BPLC and TWACS integrated communication[C]// IEEE International Conference on Electronics Information and Emergency Communication, July 21-23, Shenzhen, China. Piscataway: IEEE Press, 2017: 296-299.

人民邮电出版社出版

电力项目建设在 ERP 系统中的业务集成

崔乃栋
（国家电网公司信息通信分公司，北京　100761）

摘　要：为了实现电力建设项目在成熟套装软件中的全面应用，分析了电力项目建设及管理的业务流程，同时研究了多单位项目建设管理对各业务集成的需求，给出了在 SAP 系统中实现的具体方案。在 SAP 系统中，结合工程、物资、财务等业务模块及增强开发，对电力项目建设管理进行了业务集成及实施，实现项目成本的统一核算、投资目标的实时控制以及各建设管理单位的业务贯通。

关键词：流程；项目架构；业务集成；统一核算

1　引言

为有效支撑“集团化运作、集约化发展、精细化管理、标准化建设”的企业目标，国家电网明确提出建设“SG186”工程，通过成熟套装软件的应用，同时结合电网建设实际情况和公司要求进行二次开发，实现新时期发展战略下的集成管理业务平台，提升电网建设、运行和经营的管理水平。

电力项目建设包括可研的专题评估、选站选线、设计、招标及评审、合同签订、委托建设、施工、监理、资金支付等，对已开工项目的管理包括计划管理、概预算管理、物资管理、设备管理、资金管理、财务管理、工程决算等。

ERP（enterprise resource planning，企业资源计划）系统的实施，实现了电力建设项目的计划、工程、物资、财务在成熟套装软件中的全面应用，实现了项目成本的统一核算、投资目标的实时控制、竣工决算的辅助费用分摊以及总部和委托建管单位的纵向贯通。

本文通过在 ERP 系统中实现大型电力建设项目的管理及业务集成，分析了项目建设管理的各阶段流程、业务关联及其在 SAP 系统中工程、物资、财务等业务模块的具体集成实现，为电力行业大型建设项目管理在 ERP 系统中的集成应用提出了具体解决方案。

2　基建项目管理现状

在集团化运作模式下，公司总部、各分公司、子公司共同合作进行项目建设、运行的管理。公司总部负责公司直接投资项目的可行性研究专题、初步设计等前期工作；负责公司直接投资项目的建设管理及技术、概预算、质量安全等管理；负责制定公司直接投资项目的生产经营计划；负责公司直接投资项目的生产运行、维护、检修等合同的签订及安全管理等工作。

电网项目建设管理包括项目可研的专题评估（包括环保、土地、地质、地震、地灾等 10 项证照文件）、选站选线、初步设计的招标及评审（包括设计招标、施工招标、监理招标、设备招标）、部分合同的签订、资金的拨付；工程开工后由分公司代为行使现场管理职责，公司总部负责进行计划管理、物资管理、物资设备管理、资金管理、财务管理、工程决算、概预算管理等。

建设分公司主要从事公司总部直接投资的电网工程项目的建设管理、输电工程成套设计业务及与电网建设有关的境内外电力工程技术咨询、技术服务、工程监理、工程管理等业务。在财务、资金管理方面，使用金蝶财务管理系统和远光财务管理系统，并与公司总部相关部门实现财务管理数据互通。子公司承担公司总部委托的电网工程项目属地建设管理范围内的工程施工、监理、林勘设计、消防、专项验收、生产准备等合同以及属地内工程征地、拆迁赔偿、四通一平等合同的签订和执行。

由于在用的工程、财务等软件功能条件限制，各系统处理单一业务、工程、物资、财务各自独立，无法有效进行集成；同时，多单位参与建设给整体工程管理、成本的实时监控及项目成本的统一核算造成了困难。

人民邮电出版社出版

3 业务流程

ERP 系统的实施，首先进行项目建设的流程梳理并考虑系统实现，项目建设管理涉及各业务主要流程梳理如下。

（1）项目管理流程

- 基建项目开工前准备；
- 基建项目时间、进度计划；
- 基建项目概算及物资需求计划；
- 基建项目的安全、质量、进度管理的审核与跟踪过程；
- 基建项目设计变更与变更设计管理；
- 基建项目进度变更管理；
- 基建项目验收与投运管理。

（2）物资流程

- 基建项目物资需求管理；
- 基建项目物资采购；
- 基建项目服务采购；
- 基建项目采购订单变更；
- 基建项目物资退货；
- 基建项目现场收、发货。

（3）财务流程

- 资金支付申请；
- 预付账款管理；
- 应付账款处理：发票校验；
- 应付账款处理：付款清账；
- 应付质保金管理；
- 其他工程成本支出管理；
- 增值税发票管理；
- 前期费发生及结转；
- 在建工程保险管理：投保、索赔；
- 委托基建项目结算与决算。

（4）各业务流程在 SAP 系统中实现分析

结合 SAP 系统功能及业务需求，项目模块按照规范及模板搭建项目架构，导入概算及采购申请，以项目 WBS（work breakdown structure，工作分解结构）架构为基础，在系统中实现项目的预算控制管理、里程碑管理、物资需求管理及项目变更管理等。物资模块实现物料管理、物资申请及采购、收发货、订单变更等功能。财务模块实现工程项目的成本、往来账目及对供应商付款等核算。在集成方面，结合项目架构的物资、服务采购订单可进行财务的辅助核算及预算控制。建筑、设备、安装、其他等 WBS 分解项目的工程成本科目在系统中预先配置，在物资收发货及服务合同确认时，会直接生成对应的工程成本财务凭证；而系统的发票校验需要三单匹配，即将工程现场的物资收发货、服务确认单据与发票及合同结合起来严格匹配，只有通过后才能形成应付账款凭证，将工程、物资、财务业务在系统中有效地结合起来。

4 系统实现及应用

由于篇幅所限，在 SAP 系统实施中，本文就电力建设项目在 SAP 系统中一些集成业务或需要特殊处理的业务实现方式进行阐述。

4.1 项目前期

（1）前期费项目架构

可研工作的合同及费用使用指定的前期费项目进行管理，前期费项目由两层 WBS 构成，首层 WBS 与前期费项目编号一致，第二层 WBS 代表了各输变电项目可研工作，每个 WBS 下挂接同名的网络，用于挂接前期费服务采购订单。

（2）前期费用项目的预算

项目前期费的预算系统提供了按年度进行设置、分年度进行控制的模式。当年度计划下达后，在前期费项目下按照年度计划下达口径输入年度前期费用值和总额。

（3）前期费采购订单

可研和专题评估等项目前期合同在前期项目架构对应的可研和专题评估 WBS 和网络下创建和管理服务采购订单。采购订单需经过审批才能生效。

（4）前期费采购订单服务确认

在收到供应商开具的阶段性发票，并在确认工作进度和成果符合合同规定时，在系统中根据阶段性发票对前期费采购订单进行服务确认，形成应付账款。

（5）前期费结转

前期工作发生的费用需要及时由合同承办部门进行资本化和费用化处理。当明确项目核准确认项目立项后，进行前期费资本化结转过账处理。

当项目管理部门明确项目立项成功后，首先完成单体工程执行概算编制工作，并在系统中完成单体工程创建和执行概算导入工作，使系统具备前期费资本化的条件，然后使用前期费结转功能，维护前期订单的资本化信息，并将核准结果文件、前期合同采购订单清单及费用拆分明细、合同复印件等原始资料提交

人民邮电出版社出版

给财务部门。

财务部门根据项目核准结果进行前期费处理的确认，对于项目核准通过的合同，在前期费确认平台中进行审批，确认工程项目、明细费用、金额等信息均无误后，确认该资本化处理，并在确认的同时由系统自动发起前期费资本化的协同凭证。财务部门打印协同凭证转账表，核对表中信息无误后，连同费用拆分明细、采购订单、合同信息等单据流转到对应的单体工程主承建单位。

主承建单位核对业务是否在该项目下发生，登录系统中的协同凭证处理平台，检查系统中的协同凭证是否与协同业务转账表中的信息一致，在系统中进行确认。

前期费资本化的会计处理分录为以下几项。

（1）公司总部转账

- 借：拨付所属资金（分公司业务适用）；其他应收款（子公司业务适用）。
- 贷：其他应收款（基建前期费）。

（2）子公司工程成本归集

- 借：工程建设成本（前期工程费）。
- 贷：上级拨入资金（总部）。

（3）分公司工程成本归集

- 借：工程建设成本（前期工程费）
- 贷：其他应付款（总部）。

当明确项目立项失败后，进行费用化处理，转入当期损益。

当项目管理部门明确项目立项失败后，应完成承办的前期合同结算和清理工作，使用前期费结算功能，维护前期订单的费用化信息，并将核准结果文件、前期合同采购订单清单、合同复印件等原始资料提交财务部门。

财务资产部根据项目核准结果进行前期费处理的确认，确认后转入当期损益，生成财务凭证。

在 SAP 系统中，为满足合同部门和财务部门共同进行前期费结转及记账这一要求，进行了前期费结转功能及协同平台的增强开发。

前期费费用化的会计处理分录为以下几项。

- 借：生产成本—输配电成本—研究开发费—前期费用。
- 贷：其他应收款—基建前期费。

4.2 项目架构及概算

（1）创建单体工程项目

在系统里创建单体项目时，可以参考标准项目架构复制创建，简化系统操作，根据各类型项目的结构在系统里创建模板。

创建单体工程项目，包括项目编号、项目名称、年度资金计划数、输变电工程项目编号、名称等基本项目信息，同时根据项目模板自动复制模板中的明细 WBS 结构和里程碑计划网络结构。

（2）导入概算和资产 WBS 清册

设计院填写完成概算和资产 WBS 清册，经检查无误且审核后，将概算和资产 WBS 清册导入系统时，系统将自动创建设备类和建筑类的资产 WBS 结构，生成需要的网络，上挂物料需求。

4.3 服务采购

（1）采购订单创建与审批

基建项目前期工作和单体工程下达后，服务合同承办人根据招投标结果以及与供应商商定的合同细节，在系统中参照采购申请创建采购订单，并由服务合同审批人在审批后才可进行服务确认操作。服务采购订单包括一般的服务采购以及物资采购过程中发生的采保费、运杂费以及进口设备材料的国外段运费、国外段保险费、关税、进口商检费、进口代理手续费、银行手续费、国内段运杂费构成设备材料的价格，这些采购附加费的处理方式是单独创建服务采购订单。

（2）服务确认

工程部门根据监理方确认的工程量、供应商按照集中采购服务合同约定开具对应的阶段性发票以及实际服务工作完成情况，进行服务数量的确认，并同时确认项目实际成本。

基建项目服务确认的会计处理分录为以下几项。

- 借：工程建设成本—待摊基建支出；
- 贷：应付账款—应付暂估。

（3）发票校验

工程部门完成服务确认后，由合同执行单位收到供应商发票并对其进行审核，与合同及 ERP 系统中的采购订单信息核对一致后，在系统内进行发票预制操作，并提交财务部门，财务部门对资料审核无误后，在发票交接单上进行签字确认。财务部门人员需要在系统内对这张发票对应的订单进行采购订单、服务确认与发票匹配审核后过账，生成应付款凭证并附发票。

基建项目服务采购发票校验的会计处理分录为以下两项。

- 借：应付账款—应付暂估。
- 贷：应付账款（供应商）。

人民邮电出版社出版

4.4 物资采购

（1）采购订单创建与审批

基建项目前期工作和单体工程下达后，物资或工程专责根据招投标结果以及与供应商商定的合同细节，在系统中参照采购申请创建采购订单，采购订单在经过一系列审批后生效，可为后续的收发货及财务付款提供依据。

采购订单创建与审批涉及的系统范围包括成熟套装软件和经法系统。

采购订单对应的合同在经法系统中流转审批完成后，如果审批通过，则经济法律管理业务系统将审批结果、合同编号、合同描述等合同相关信息传到 SAP 系统中。

（2）物资收发货

工程建设部门在物资采购订单审批完成后，组织进行验收，出具验收单，根据入库单、领料单和出库单在系统中直接进行收发货操作，不作库存管理，直接确认工程成本。

基建项目物资采购收发货的会计处理分录为以下项目。

（a）收货

- 借：工程物资。
- 贷：应付账款—应付暂估。

（b）发货

- 借：工程建设成本—基建工程支出
- 贷：工程物资

（3）发票校验

工程、物资部门所做的物资收发货，在收到供应商发票后，对其进行审核，与合同及 ERP 系统中的采购订单信息核对一致后，在系统内进行发票预制操作，提交财务部门，财务部门对资料审核无误后，在发票交接单上进行签字确认。财务部门人员需要在系统内对这张发票对应的订单进行采购订单、收发货单及发票的三单匹配审核后过账，生成应付款凭证并附发票。

基建项目物资采购发票校验的会计处理分录为以下几项。

- 借：应付账款—应付暂估；应交税金—应交增值税—进项税。
- 贷：应付账款（供应商）。

4.5 生产准备费

（1）采购申请创建和审批

生产准备费物资采购需求没有包含在设计院提供的概算和资产 WBS 清册中，需要需求部门在项目架构上提出。在线下已经完成相关申请审核后，根据需求在 ERP 系统创建审批采购申请。

（2）采购订单创建和审批

由相应物资采购部门自行审批后，传入经法系统进行会签，会签完成后，经济法律管理系统将最终的审批结果反馈到 SAP 系统中，自动标记采购订单审批完成。

（3）物资收发货与服务确认

运维单位的生产准备费物资服务采购需求没有包含在设计院提供的概算和资产 WBS 清册。对于物资采购，组织进行验收，出具验收单，根据相关单据在系统中直接进行收货操作；对于服务采购，根据确认的工程量、供应商按照集中采购服务合同约定开具对应的阶段性发票以及实际服务工作完成情况，进行服务数量的确认。

4.6 期末处理

（1）工程成本划转

在电网基建项目的建设过程中，主承建单位会将业务委托至其他单位处理，当项目进入期末完工阶段后，则需将该项目在委托单位已经发生的成本划转回主承建单位的利润中心中。

基建工程成本划转账务处理如下。

成本从委托建设单位转出时：

- 借：拨付所属科目（或上级拨入科目）；
- 贷：工程成本科目。

成本由主承建单位转入时：

- 借：工程成本科目；
- 贷：拨付所属科目（或上级拨入科目）。

（2）增值税上划

在电网基建项目的建设过程中，每月月末项目建设单位财务部门根据本月收到的采购合同增值税发票进行所属工程项目初审，初审通过后，项目建设单位将增值税发票抵扣联提交受托网省公司财务部门进行统一本地认证，本地认证未通过或二维码发票需要将发票抵扣联寄到国网总部财务部由税务专责进行柜面认证。各省公司和直属单位需要将本月处理的增值税抵扣情况进行分类上报。

项目建设单位产生凭证分录为以下两项。

- 借：其他应付款—基建资金—增值税或上级拨入资金—基建资金—增值税。
- 贷：应交税费—应交增值税—结转进项税额—固

人民邮电出版社出版

定资产进项—基建工程。

总部产生凭证分录为以下两项。

- 借：应交税费—应交增值税—进项税—固定资产进项—基建工程。
- 贷：其他应收款—基建资金—增值税或拨付所属资金—基建资金—增值税。

（3）项目月末结算

对于电网基建项目的日常业务核算，如有在本单位利润中心下通过工程建设成本科目进行明细记账，则需在月末和年末，当委托建设单位工程专责检查完所有项目成本均已发生并核实无误后，将当月发生的工程建设成本统一转入相应的在建工程，完成本单位利润中心项目成本的月结工作。

基建项目月末结算账务处理如下。

- 借：在建工程—基建工程支出。
- 贷：工程建设成本转出。

5 结束语

本文提出了基于 SAP 软件系统中项目管理、物资管理、财务管理集成应用的实现及其在电网建设项目中的应用，通过分析具体业务流程，在 SAP 系统中进行各业务模块的集成处理，将工程、物资、财务模块中的项目计划、项目预算、项目架构、项目的物资及服务采购需求、物资及服务采购合（同采购订单）签订及执行、物资收发货、服务确认、发票校验、预付款、付款清账、质保金、工程结算等业务功能进行了集成应用。在国家电网公司总部 ERP 系统中，对 300 多个跨区电网单体项目进行了集成应用管理，很好地解决了项目成本的统一核算、投资目标的实时控制、电网项目参建单位统一协调管理的业务要求。

参考文献：

[1] 陈朝庆, 兰英. SAP ECC 5.0/6.0 总账系统应用指南[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.

[2] 电力工程造价与定额管理总站. 电网工程建设预算编制与计算标准使用指南[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.

[3] 国家电网公司财务资产部. 国家电网公司会计核算办法[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.

[4] 国家电网公司产业发展部. 国家电网公司直属产业单位会计核算细则[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.

人民邮电出版社出版

电网工业控制系统安全防护

葛冰玉，陈智雨，谢磊，李丹丹，黄文雯
（国家电网公司信息通信分公司，北京 100761）

摘　要：在工业控制系统安全成为工业和信息安全领域研究机构关注的研究热点的大背景下，阐述了工业控制安全的含义，说明工业控制系统与传统信息安全的不同之处。调研了工业控制安全在国内外的研究现状，并阐明了电网工业控制系统在工业控制现场层、工业控制传输通道层以及工业控制主站系统层的主要安全风险。对目前电网工业控制系统的层次结构进行了详细的阐述。列举电网工业控制系统安全防护实例：电网工业控制通信传输安全防护。提出的经验技术对我国电网工业控制系统安全的发展有重要的参考意义。

关键词：工业控制；安全防护；电网安全

1　引言

工业控制系统（industrial control system，ICS）是由各种自动化控制组件和实时数据采集、监测的过程控制组件共同构成的，主要实现数据采集和处理、监视和控制及远程通信和维护等功能。工业控制系统包括数据采集与监控系统（SCADA）、分布式控制系统（DCS）、可编程逻辑控制器（PLC）、远程终端（RTU）、智能电子设备（IED）以及确保各系统及智能设备通信的接口技术[1]。

最初，ICS 与 IT 系统没有一点相似之处，ICS 是运行专有控制协议、使用专门硬件和软件孤立的系统。但广泛使用的、低成本的互联网协议（IP）设备取代专有的解决方案使得 ICS 中增加了网络安全漏洞和事故发生的可能性。ICS 采用这种解决方案以促进企业连接和远程访问能力，并对行业标准的计算机、操作系统和网络协议进行改进设计和实施，使得它们已经开始类似于 IT 系统了。这种集成支持新的 IT 能力，相比原先的系统，ICS 与外界的隔离大大减少，产生了保护这些系统的更大需求。虽然很多基于 IT 的安全解决方案已经被设计出来处理这些典型的 ICS 安全问题，但是在引进这些解决方案到 ICS 环境中时，必须采取特殊的防护措施。在某些情况下，需要根据 ICS 环境量身定制新的安全解决方案。

ICS 可用的计算资源（包括 CPU 时间和内存）往往是非常有限的，因为这些系统旨在最大限度地控制系统资源，很少甚至没有额外容量给第三方的网络安全解决方案。此外，在某些情况下，第三方安全解决方案根本不被允许，而且如果安装了第三方应用程序，很可能发生可用性的损失。除保障工业控制安全外，另一个重要考虑因素是拥有 IT 网络安全和控制系统专业知识的通常不是同一组人员[2]。

ICS 和 IT 系统之间存在业务和风险的差异，这就产生了在应用网络安全和业务战略方面的复杂性需求。一个由控制工程师、控制系统运营商和 IT 安全专业人员构成的跨职能团队，应当紧密合作，以理解安装、操作与维护与控制系统相关的安全解决方案时可能产生的影响[3]。工作于 ICS 的 IT 专业人员在部署之前需要了解信息安全技术的可靠性影响。综上所述，在 ICS 上运行的一些操作系统和应用可能无法直接正常运行现行的 IT 网络安全解决方案，因此研究基于 ICS 的专用安全环境架构很有必要。

2　信息安全工业控制系统研究现状

自从工业和信息化部 451 号文《关于加强工业控制系统信息安全管理的通知》发布之后，国内各行各业都对工业控制系统安全的认识达到了一个新的高度，电力、石化、制造、烟草等多个行业陆续制定了相应的指导性文件，指导相应行业的安全检查与整改活动。国家标准相关的组织 TC260、TC124 等标准组也启动了相应标准的研究制定工作。

在电网工业控制系统方面，近些年，依据《电力二次系统安全防护总体方案》中提出的“安全分区、

人民邮电出版社出版

网络专用、横向隔离、纵向认证”总体方针，电力二次系统的安全防护措施在以下一些应用中陆续落实。

- 电力调度数据网在纵向间安装了电力专用的纵向加密认证装置，横向间安装了正、反向隔离装置。通过纵向加密认证装置，实现双方认证、数据加密等功能，通过隔离装置，实现不同安全区之间的数据的安全传输[4]。
- 配网自动化系统则采用了单向认证的安全防护方式，即主站对带控制命令的报文进行签名，终端收到签名的报文后，需要进行验证签名，验证通过后才会执行相应的功能。通过单向认证方式，可以有效地防止主站系统被伪造。
- 输变电状态监测系统则通过在状态监测代理中内置安全芯片和安全专控软件，实现与主站安全接入平台间的身份认证和数据加密。

3 电网工业控制系统主要安全风险

3.1 工业控制现场层

对工业控制终端层，大量的现场设备和终端可能存在安全漏洞。并且，一些设备是国外采购的，未实现自主可控，这些设备可能存在被恶意监控、停止服务、数据泄露等风险[5]。对工业控制现场网络，电网工业控制系统主要采用 IEC 61850（现场）和 IEC60870-104（远程）通信规约进行通信，目前这些通信规约不具备加密、认证的功能，因此存在被窃听的风险。同时电网工业控制现场使用的无线传感网安全认证机制不足，存在安全隐患。

3.2 工业控制传输通道层

一些采用 GPRS（general packet radio service，通用分组无线服务）、CDMA（code division multiple access，码分多址）等无线通信方式的不具备光纤通信条件的厂站，在 GPRS 环境直接使用 101 规约，使用 APN（access point name，接入点）虚拟专网进行测量数据采集、控制命令下发，缺少加密措施及身份认证，存在极大的安全隐患。

3.3 工业控制主站系统层

由于电网工业控制系统主要强调实时性与可用性，工业控制主站系统层存在系统防护能力不足的问题，主要包括配置存在缺陷、系统补丁管理困难和安全机制升级困难以及由于系统性能的要求缺乏日志审计功能等。

4 电网工业控制系统层次结构

电网工业控制系统包括电力监控与信息采集系统、电力通信及数据网络等。电力监控系统是指用于监视和控制电网及电厂生产运行过程的、基于计算机及网络技术的业务处理系统及智能设备等。电力通信及数据网包括电力调度数据网、电力企业数据网等[6]。为分析电网工业控制系统安全防护需求，将电网工业控制系统结构抽象成工业控制系统现场侧、工业控制系统传输通道及主站系统层。电网工业控制系统分层模型如图 1 所示。

电网工业控制系统现场：指电网工业控制的生产环境，包括现场处理单元与其实时、嵌入式操作系统、监控主机、工业控制现场网络（工业以太网、现场无线组网等）以及网络上的电力通信规约[7]。

现场处理单元：包括可编程逻辑控制器（PLC）、远动终端（RTU）、智能 IED（保护、测控、计量、合并器、智能终端、智能组件、时钟设备）等。

电网工业控制传输通道：指工业控制现场处理单元与远程主站系统通信的网络，包括 GPRS/Wi-Fi 等无线通道和远程拨号、光纤专线等有线通道。

电网工业控制主站：包括对实际生产环境进行监控和管理的主机（操作系统、数据库）以及主站应用和数据。

5 电网工业控制系统实例：电网工业控制通信传输安全防护

5.1 有线通道

（1）远程拨号安全

- 为保证远程拨号安全，可采用网络层保护及链路层保护。采用网络层保护，应用 VPN（virtual private network，虚拟专用网络）技术建立加密通道，适用以下情况：通过拨号服务器（RAS）对电网工业控制系统的本地网络与系统进行远程拨号访问；采用链路层保护，使用专用的链路加密设备，结合数字证书技术，对远程拨号用户进行客户端检查、登录认证、访问控制和操作安全审核。
- 应建立远程拨号安全管理机制，可采取如下措施：拨号设施在不使用时关闭电源；拨号登录用户和密码应及时更换，至少 1 个月更换一次；对拨号详细情况进行记录，如时间、事由等；

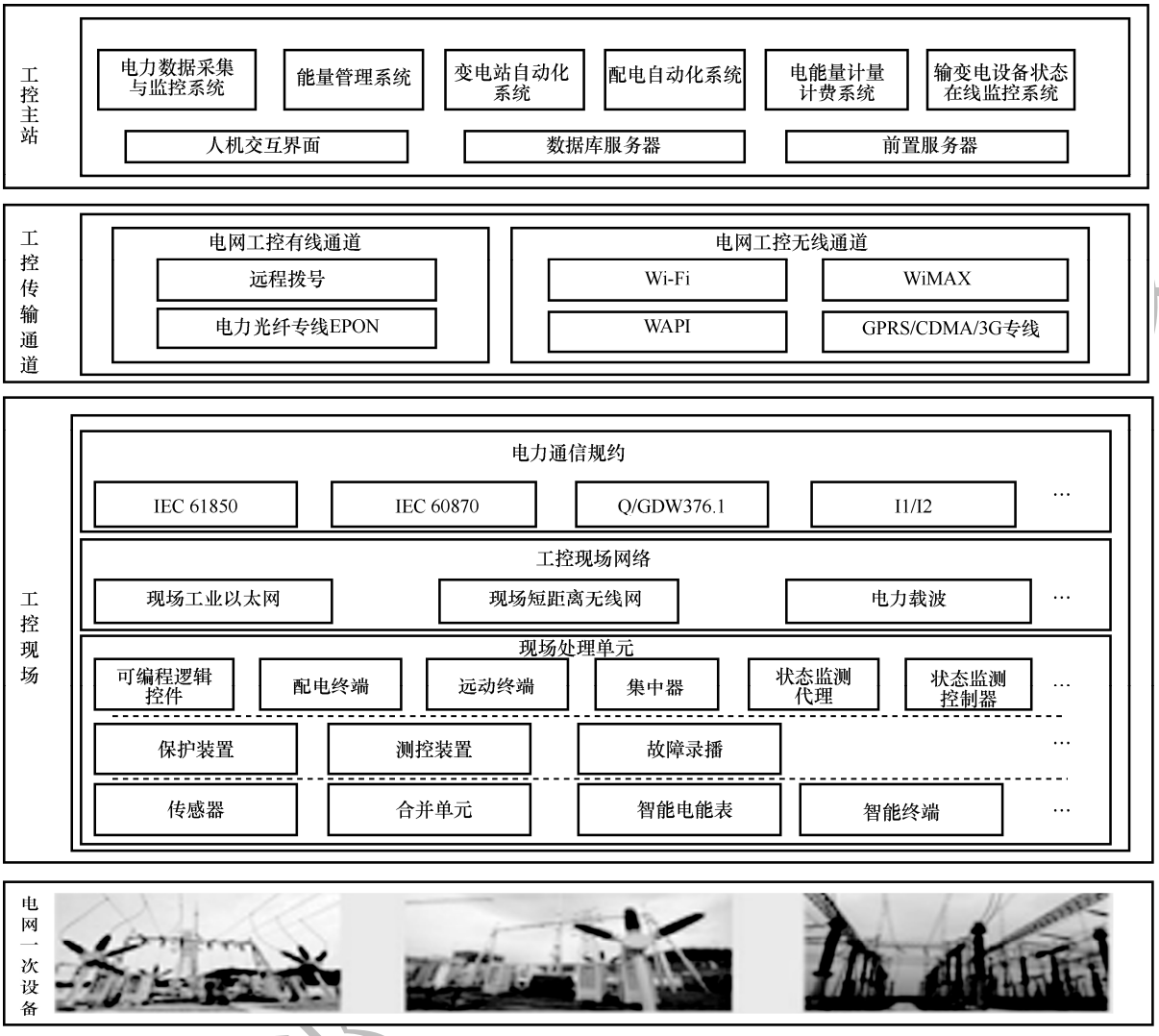


图 1　电网工业控制系统分层模型

对远程拨号用户有相应的权限限制；保证远程接入用户出现问题可追查等。

（2）光纤通信安全

- 当电网工业控制系统采用 EPON（Ethernet passive optical network，以太网无源光网络）、GPON（gigabit-capable PON，无源光接入系统）或光以太网络等技术时应使用独立纤芯或波长。
- 宜采用线路冗余备份、身份认证和数据加密等措施，加强对关键电网工业控制系统远程光纤通信的保护。

5.2　无线通道

（1）Wi-Fi 安全防护

- 应采用 IEEE 802.1x 认证和密钥管理方式；
- 应采用 WPA2 协议加密机制，对数据流进行加密；
- 应禁止 SSID （服务装置标识） 广播，应进行物理地址过滤，使用访问控制列表，禁用 DHCP；
- 应实施封闭网络访问控制，只有知道网络名称或 SSID 的 Wi-Fi 设备或用户才可连接；
- 应对所有使用 Wi-Fi 进行通信的装置进行安全审计[8]。

（2）WiMAX 方式

- 应支持 PKM（privacy key management，密钥管理）协议，采用公钥密码技术实现身份认证、接入授权以及会话密钥的发放和更新。
- 应提供数据加密、信令保护和密钥管理。

（3）WAPI 接入安全防护

- 应使用 WAPI（wireless lan authentication and privacy infrastructure）的 WAI 对用户身份进行鉴别认证，采用公开密钥密码体制，利用证书对设备进行双向认证，进行集中式认证管理；
- 应使用 WAPI 的 WPI 对传输的数据进行加密。

（4）GPRS/CDMA/3G 安全防护

- 应在无线网络的基础上建立专用的 APN 通道形成无线专网，实现与互联网的隔离；实施远程 VPN 连接，应当注意以下技术实现：应当将 VPN 服务器放置于 DMZ 区或 Internet 互联网防火墙之外；对于各业务系统经由 VPN 实现的远程管理必须制定严格的访问控制措施；对经过 VPN 进行的远程业务访问必须设定严格的访问控制规则；应当进行完整的访问记录事件审计；VPN 远程接入应当采用强认证，如证书、动态口令等进行远程访问的认证。
- 应与无线专网纵向边界的安全接入平台建立专用加密通道，保证数据通过无线专网远程传输的安全性；
- 应与无线专网纵向边界的安全接入平台实现远程终端身份认证和安全准入。

6 结束语

本文阐述了工业控制安全的含义，调研了工业控制安全在国内外的研究现状，并阐明了电网工业控制系统在工业控制现场层、工业控制传输通道层、工业控制主站系统层存在的主要安全风险。同时，对目前电网工业控制系统的层次结构进行了详细的阐述。列举电网工业控制系统安全防护实例：电网工业控制通信传输安全防护。本文提出的经验技术，对我国电网工业控制系统安全的发展有重要的参考意义。

参考文献：

[1] 区和坚. 工业控制系统信息安全研究综述[J]. 自动化仪表, 2017, 38(7): 4-8.

[2] 徐珊珊. 工业控制系统轻量级数据安全传输的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.

[3] 彭勇, 江常青, 谢丰, 等. 工业控制系统信息安全研究进展[C]// 信息安全漏洞分析与风险评估大会, 2012 年 10 月 18 日, 上海. 2012.

[4] 高洋, 郑东骥. 工业控制系统信息安全威胁分类[J]. 中国信息安全, 2016(4): 66-68.

[5] 邱金龙. 工业控制系统信息安全的未来趋势[J]. 信息与电脑(理论版), 2016(4): 184-185.

[6] 邸丽清, 谢丰. 工业控制系统信息安全与功能安全结合之探讨[J]. 中国信息安全, 2016(4): 62-65.

[7] 张醒. 基于工业控制系统网络的整体防御与关键节点挖掘研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2016.

[8] 谭悦平. Wi-Fi 无线网络的安全与防范措施探讨[J]. 信息与电脑(理论版), 2018(9).

人民邮电出版社出版

二维码标签在通信机房的应用

刘骊，尹恒，张艳
（国网湖北省电力公司孝感供电公司信息通信分公司，湖北 孝感 432000）

摘　要：通信机房的光缆光纤管理是机房运维人员的主要工作，运维难度越来越高。为了便于机房光缆光纤管理，就通信机房光缆光纤标签设计展开了探究。从通信机房光缆光纤标签的现状和问题入手，介绍了二维标签在机房的应用，最后建立了二维标签的相关制度。

关键词：二维码标签；电力通信机房；光缆故障检修

1　引言

近年来，电力通信机房作为智能电网的核心控制中枢，位置越来越重要[1]。随着电力通信设备与光缆的增加，通信机房工作人员的运维难度越来越高。据调查，通信机房的光缆光纤管理是机房运维人员的主要工作。为了便于机房光缆光纤管理，本文就通信机房光缆光纤标签设计展开了探究。

2　通信机房光缆光纤标签

2.1　现状分析

国网湖北省电力公司孝感供电公司通信网中目前有 227 个网元，每台传输设备都有与之连接的配线柜，每条配线均需要详细的标识进行记录。传统的机房标签仅记录了本端及对端的设备及端口信息，一旦一端的设备或端子变化就需要重新制作两端的标签。同时如果要了解某一设备和线路的下一个或下级多个节点和线路的信息，不是通过查纸质的表格，就是要按照设备和线路沿路寻找（简称摸线），这些工作加重了机房运维的困难。

国家电网对通信机房标签的使用规范有明确规定。在《国家电网通信管理系统技术基础 第 4 部分：标签管理》中第 40 页有关于标签规格的说明，明确规定光纤标签的规格为宽 18 mm、长 84 mm、页边 2 mm。如图 1 所示。

该标准除了规定标签的规格外，还对标签上的内容和字体有明确规定。在标准书的第 53 页，规定光纤标签内容分为“光缆名”“业务名”“起点”和“终点”。标准书的第 55 页有标签字体的具体规定：光缆名黑体 11 号，业务名黑体 7 号，起点和终点黑体 9 号。严格

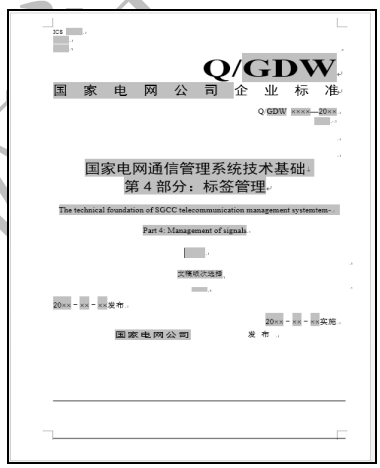

Q/GDW
国 家 电 网 公 司 企 业 标 准
国家电网通信管理系统技术基础
第 4 部分：标签管理
The technical foundation of SGCC telecommunication management systemtem-
Part 4: Management of signals

图 1　企业标准

按照该标准书的规范要求，通信机房运维人员打印出的光纤标签如图 2 所示。

滠川长征01（48）发	滠川长征01（48）发
业务：滠川长征-信息（外）	业务：滠川长征-信息（外）
起点:R34/SR1/A6	起点:R34/SR1/A6
终点:R18/SR5/C8	终点:R18/SR5/C8

图 2　标签样式

2.2　问题剖析

通信机房光缆标签是机房运维人员查找光缆故障的重要工具，但要查清光缆故障仅用该工具往往不够，机房运维人员还需要咨询监控中心的值班长，在监控中心的网管上查看光缆具体连接情况。有时候，为了进一步精准定位故障，机房运维人员需要向网络控制室的工作人员申请查看尾纤（光缆末端）的连接资料。这些故障查找的过程既费时费力，又易出错。因此，提高通信机房光缆故障查找效率势在必行。现行的机

人民邮电出版社

房标签管理方式与物联网、智能电网的快速发展形成较大反差，采用电子标签解决机房光缆故障查找效率低势在必行[2]。

标识体系是电力通信机房维护工作的重要基础，为了建立适合电力通信机房的标识体系，笔者总结其他行业的标识体系现状，参考国际国内的先进技术，同时大胆进行创新，从规范性、实用性、美观性几个角度对机房标识的选择进行了论述，并将机房标识体系提高到管理的高度，真正达到提升电力通信系统运维服务质量的目的，为电力通信机房的安全稳定运行提供更可靠的支持与保障。

如果有一种方式能够记录设备和线路详细连接关系，同时可以快速获取内容，就能大大降低机房运维人员的负担，提高工作效率。

3 二维码标签

二维码是一种用某种特定的几何图形按一定规律在平面分布的黑白相间的图形记录数据信息的编码。依托信息容量大、保密性高、译码可靠性高、纠错能力强、成本低等众多优点，二维码标签在社会众多领域得到广泛应用。常见二维码有 QR 码、Data Matrix 码和 PDF417 码。它们都能使用所有字符进行编码，编码用纯数字时，最大的位数分别是 7 089、3 116 和 2 710。由于 QR 码使用最为广泛，很多手机软件只能识别这种二维码。因此，本文说的二维码默认采用 QR 编码方式。不同编码方式的二维码见表 1。

表 1 二维码编码类型

编码方式	用途	格式	最大位数/bit
QR	一般	二维矩阵	7 089
Data Matrix	电子	二维矩阵	3 116
PDF417	邮寄	二维静态	2 710

4 二维码标签在机房的应用

4.1 二维码标签的制作

首先，确定标签内容。标签内容采用光缆故障检修常用查询的项目，包括光缆名、光缆芯数、光缆类别、光缆全长、全程损耗、平均损耗、维护人、投运时间和路由信息。然后，选取标签打印软件。采用标签打印软件 P-touch Editor5.1，在插入选项里选择条形码，协议里选择 QR 编码方式，在数据框里输入标签内容，点击打印。如图 3、图 4 所示。

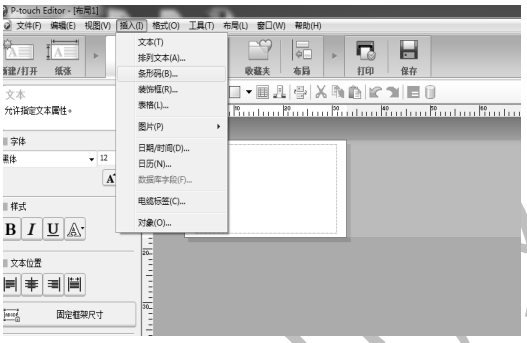


图 3 标签打印界面

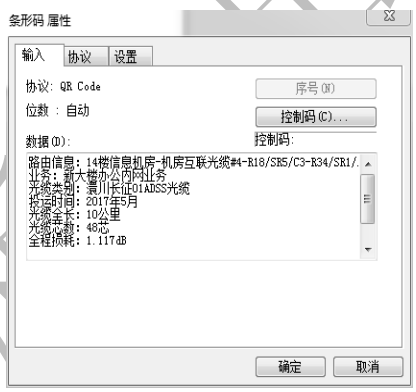


图 4 标签内容输入界面

最后，确定标签粘贴位置。将打印出来的二维码标签粘贴到机房线缆对应位置。打开手机离线扫描软件，扫描标识上的二维码。通信机房内的检修人员可将二维码扫描结果分享给机房外的相关工作人员，实现资源共享。



图 5 二维码标签样式

4.2 二维码标签使用效果

通信机房使用二维码标签后，检修人员扫描光缆上的二维码标签就可以获得光缆故障检修查询所需的全部信息。原来机房标签内容项目如图 6 所示，二维码标签内容如图 7 所示。

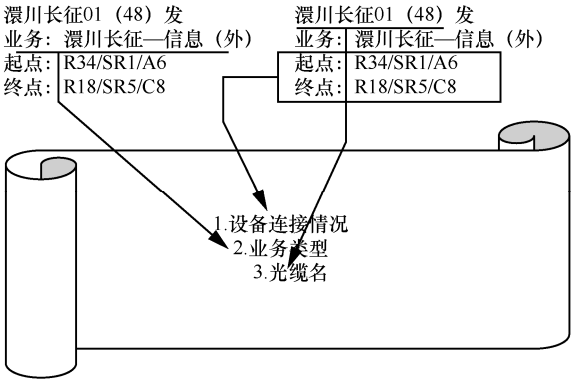


图 6　原来机房标签内容项目

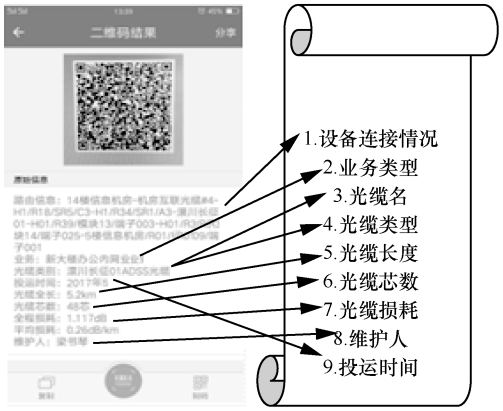


图 7　二维码标签内容项目

从表 2 可以看到，使用二维码标签之后，通信机房里检修人员查找故障所用时间较使用前大大缩短。

表 2　查找故障时间前后对比

查找对象	二维码标签使用前查找故障时间/min	二维码标签使用后查找故障时间/min
孝感供电公司至北城的光缆	19	7
孝感供电公司至熊家嘴的光缆	30	13
孝感供电公司至澴川路的光缆	22	8
孝感供电公司至文质路的光缆	35	19
孝感供电公司至南城的光缆	30	15
孝感供电公司至城站路的光缆	28	10
孝感供电公司至北京路的光缆	35	18
孝感供电公司至燎原的光缆	32	17
澴川路至北京路的光缆	23	6

5　制定二维码标签相关制度

二维码标签在通信机房中的使用大大缩短了检修人员查找故障的时间，为进一步取得好的效果，制定了相关制度，使二维码标签在机房普及应用。

（1）制度一：建立“机房标签责任考核”机制

为保证标识的及时性和正确性以及解决人员制度执行力不够的问题，采取了 3 种措施：一是确定线缆标签的维护人，进一步地明确责任主体；二是引入考核机制，将考核情况列入周例会常规内容，并将需要考核的各项指标分解、量化为百分数，形成责任考核指标，考核与绩效挂钩，一改过去考核的软指标为硬指标，增强考核的有效性；三是统计员工制度执行率。

（2）制度二：制定详细的巡视检查计划

每天上班后半小时巡检，每天一次。巡检完毕后，把巡检情况记录在表格里，完成好人员巡检交接工作，将前一天出现的问题及时处理，确保问题次日解决。

（3）制度三：制定二维码标签流程

到通信机房查看设备、配线单元连接关系，检查标签信息是否与现场连接情况一致。如果一致，则准备打印二维码标签，如果不一致，则将标签重新打印，粘贴正确标签。下一步，打印二维码标签，制作二维码标签的流程在前文已详细呈现，此处不再赘述。打印好二维码标签后，检查二维码标签内容项目是否大于现场工作需要的最低项目数（9 项），如果满足条件，则完成整个流程，如果不满足，则重新打印二维码标签。

6　结束语

本文从通信机房光缆光纤标签的现状和反映的问题入手，依托二维码信息容量大、保密性高、译码可靠性高纠错能力强、成本低等众多优点，将二维码标签应用于通信机房线缆管理。结果表明，使用二维码标签后，机房的光缆故障查找效率大大提高，对机房管理有着重要意义。最后建立了二维码标签的相关制度，使得二维码标签在电力通信机房应用落实到位。

参考文献：

[1] 程龙. 基于物联网技术的电力通信机房资产管理应用[C]//2016 年智能电网发展研讨会, 2016.

[2] 谭彦鹏. 浅析电力通信领域电子标签的应用前景与系统架构[J]. 信息通信, 2015(9): 6.

人民邮电出版社出版

分布式对象存储/文件系统的数据同步

张亮
（国网电子商务有限公司，北京 100069）

摘　要：提出了分布式对象存储/文件系统跨数据中心的数据同步以及跨数据中心数据访问的解决方案，包括解析访问请求、获取请求路由、基于路由信息选择底层存储域、基于路由处理对象读取操作。

关键词：分布式对象存储；分布式文件系统；数据同步

1　引言

一般而言，分布式文件系统是在分布式对象存储的基础上将对象组织为逻辑的树状结构，以方便用户的访问，因此，将分布式对象存储和分布式文件系统的访问放在一起阐述。在面对分布式对象存储/文件系统时，一个普遍的问题是跨域调度以及由此引起的数据同步，也是本文说明的重点。

分布式对象存储/文件系统通过 S3 接口、NFS、CIFS、FTP、Web services 等类型的接口为用户提供可扩展的存储能力。分布式对象存储/文件系统最重要的就是为用户提供全局统一的命名空间，这也是和 NAS 的根本区别。在一个分布式对象存储/文件系统的环境里，系统内部应该负责存储策略、读写策略以及用户请求的路由和定位，这一切应该都是对用户透明的，即使在系统跨越多个数据中心时也应该如此。由于网络因素，跨数据中心的数据副本同步写将会带来较大的时延，从而影响到系统的整体性能。因而，很多分布式对象存储/文件系统的产品，主要还是部署和应用在一个数据中心里，在需要多个数据中心提供可靠性和数据安全时，每个数据部署一套分布式对象存储/文件系统的实例，实例之间进行数据复制，这就带来了跨数据中心调度的问题。

2　功能需求

对象存储系统的服务接入层提供内建的访问路由策略，支持上层应用系统从任意数据中心发起对任意资源的访问请求。请求的后续访问处理（本地访问或远程访问）由对象存储系统内部自动处理。同时，对象存储系统提供可配置的访问路由策略，使得应用层可以根据业务区域特征设定恰当的路由策略，以便使数据的访问尽可能发生在本地数据中心。

例如，有两个数据中心 DC1 和 DC2，有一个应用系统为 App-1。假设 App-1 的大部分写请求发生在数据中心 DC1，而读请求发生在两个数据中心的概率相似。则可以设置访问路由，使得 App-1 的写请求路由到 DC1，这样可以保证大部分情况下写请求发生在本地数据中心。

另外，系统还提供可配置的数据访问一致性级别策略，在兼顾优先从本地读取数据的基础上，也可实现数据的强一致性读取保证。例如针对上面的例子，如果针对 App-1 的访问请求发生在 DC2，且一致性级别为最终一致性，则处理时从 DC2 本地读取数据（可能读到旧版本或数据不存在）；如果一致性级别为强一致性，则处理时从 DC1 远程读取数据（保证读到数据的最新版本）。如果针对 App-1 的访问请求发生在 DC1，则只需要从 DC1 本地读取，即可实现强一致性。

从应用层面看，系统应保证任意节点在发生异常（如断网、硬盘损坏、断电）的情况下可以继续提供服务。针对两个关键服务（跨数据中心近实时数据复制以及跨数据中心多点数据访问），系统要保证在服务过程中无单节点失效问题。各工作节点应形成一个高可用集群，保证集群内任意节点坏掉，其他节点可以继续后续工作。且节点恢复后，可以重新加入集群中。

系统还应具备弹性扩展能力，要允许运维人员通过在线增加处理节点的方式，平滑（指增加节点的过程中系统对外不停止服务）地提升系统的总体处理能力。针对两个关键的服务（跨数据中心近实时数据复

人民邮电出版社出版

制以及跨数据中心多点数据访问），要求两类关键服务节点（数据复制节点和数据访问节点）分别具备平滑扩展能力。

针对数据复制节点，由于整个异地数据复制过程中，最可能出现的潜在性能瓶颈在异地机房间的网络带宽以及由于网络不稳定造成的传输时延上，而复制节点本身处理能力的提升对于整体复制过程中性能提升的贡献相对而言是比较有限的。因此，对数据复制节点，可采取相对简单的扩展方式：增加复制节点，并修改每个复制节点的配置，以更改其处理范围（这里可以把每个数据复制节点的处理范围想象成整个数据集中的一个子集）。

针对数据访问节点，可以将跨数据中心的访问路由控制功能作为组件部署在对象存储服务（object storage service）节点中，因此这里的扩展性设计转换为对象存储服务节点的扩展性设计。由于系统的对象存储服务节点是无状态设计，因此可以简单地通过修改前端负载均衡的代理列表，将新的对象存储服务节点加入集群中。

3 实现方式

3.1 逻辑架构

系统根据不同的功能角色划分为 3 个层级，如图 1 所示。

（1）服务层

分为两类服务：对象存储服务和管理服务。其中对象存储服务提供借助请求路由组件实现跨数据中心数据访问。管理服务包括账号管理服务、统计服务（包括后台统计处理组件和前端统计报告组件）、监控管理服务（包括监控管理软件Console和监控管理服务）。

（2）数据层

系统将两类数据，即资源数据和账号数据，分别保存在分布式对象存储引擎及关系数型据库管理系统（RDBMS）中。

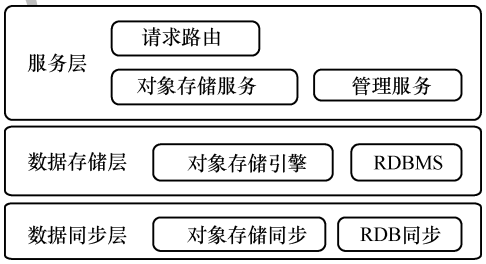


图 1　逻辑架构

资源数据包括对象元数据、对象内容、容器元数据、对象及容器的 ACL 等；账号数据包括账号身份认证、账号签约信息、账号拥有的容器列表、账号配额、账号使用统计等。

（3）同步层

针对两类数据，分别采用不同的数据同步组件。针对保存在分布式对象存储引擎中的资源数据，采用分布式对象存储集群同步工具进行跨数据中心的数据同步；针对账号数据，可采用关系型数据库管理系统自带的同步工具进行同步。

3.2 部署架构

图 2 描述了两个数据中心的系统部署的架构视图。

在一个数据中心内，系统部署时分为两类节点：存储节点，部署软件包括通信软件、分布式对象存储软件、对象存储服务软件；管理节点，部署软件包括通信软件、RDBMS（如 PostgreSQL 或 MySQL5.0）、数据同步软件以及统计分析、统计报告、账号管理（含路由设置，也就是访问策略设置）、Console 等软件。

为了获得较大的网络带宽，避免单网卡成为每个节点的网络 I/O 瓶颈，建议每个节点部署双网卡。一块网卡用于对外提供服务（对象存储服务及管理服务），另一块网卡用于内部数据交换及跨数据中心数据同步。

各节点对外服务网卡通过负载均衡设备（如 F5）对提供外部访问服务，而各节点内部数据交换网卡通过通信软件（分布式数据总线）与彼此连接并交换数据。

客户端分为如下 3 类。

- 应用系统：与负载均衡设备网络可达，直接访问系统的对象存储服务或管理服务。
- 管理用户：通过浏览器连接到 Console 服务器（集群），使用 Console 管理监控系统。
- 最终用户：通过互联网直接连接对象存储服务集群。

数据中心之间通过光纤专线互通。

3.3 运行架构

图 3 描述了本项目涉及的 3 个主要运行时处理流程。

（1）资源数据同步流程

以两个数据中心（DC1, DC2）为例，涉及的角色包括对象存储服务、对象存储引擎、对象存储数据同步。DC1 中的对象存储数据同步实体负责将 DC1 中对象存储引擎里的数据复制到 DC2 中的对象存储引擎；DC2 中的对象存储引擎数据同步实体则相反，负责将

人民邮电出版社出版

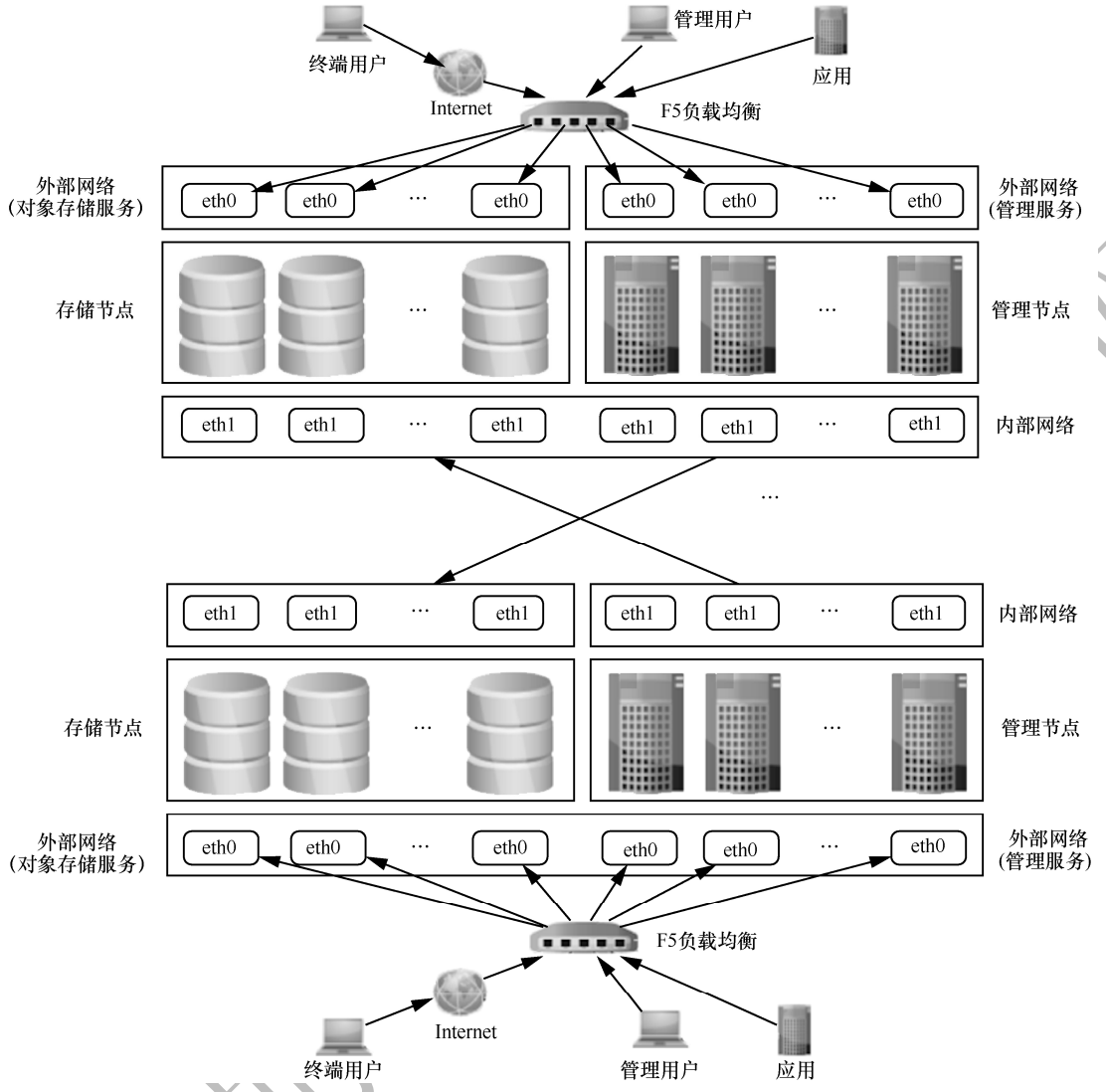


图 2　部署架构

DC2 中对象数据存储引擎里的数据复制到 DC1。

以 DC1 中的对象存储引擎数据同步实体为例，其处理流程为：

（1）接收 DC1 中对象存储引擎发来的 event 消息；

（2）从 DC1 中对象存储引擎获取(pull)待复制数据；

（3）向 DC2 中对象存储引擎写(push)数据；

（4）更新 committed checkpoint，并持久化到 DC1 中对象存储引擎里（此步骤中持久化操作可异步化处理）。

在步骤(1)中，数据同步实体应按照 event ID 单调连续递增的顺序处理接收到的 event，若收到的 event 非连续或非单调递增，Guardian 应在内部对 event 进行重排处理（具体流程见下面数据同步详细流程介绍）。

在步骤（2）中，若根据 event 中的 source_id 从对象存储引擎中获取数据时返回 Key Not Found，则说明在 event 发生的时间点至步骤（2）处理该 event 的时间点的时间间隔内，该资源被删除。

在步骤（3）中，若写操作失败，数据同步实体会尝试重试，而不会跳过失败的数据继续写后面的数据。

（2）账号数据同步流程

账号数据保存在关系型数据库中，本项目直接利用关系型数据库的复制工具实现跨数据中心的数据库同步。实施时，应根据所选的关系型数据库及其版本以及跨数据中心的网络情况等因素决定具体的复制策略（如 Async/Sync、Streaming/Batch）。最低要求是在数据中心间进行可靠的异步复制。

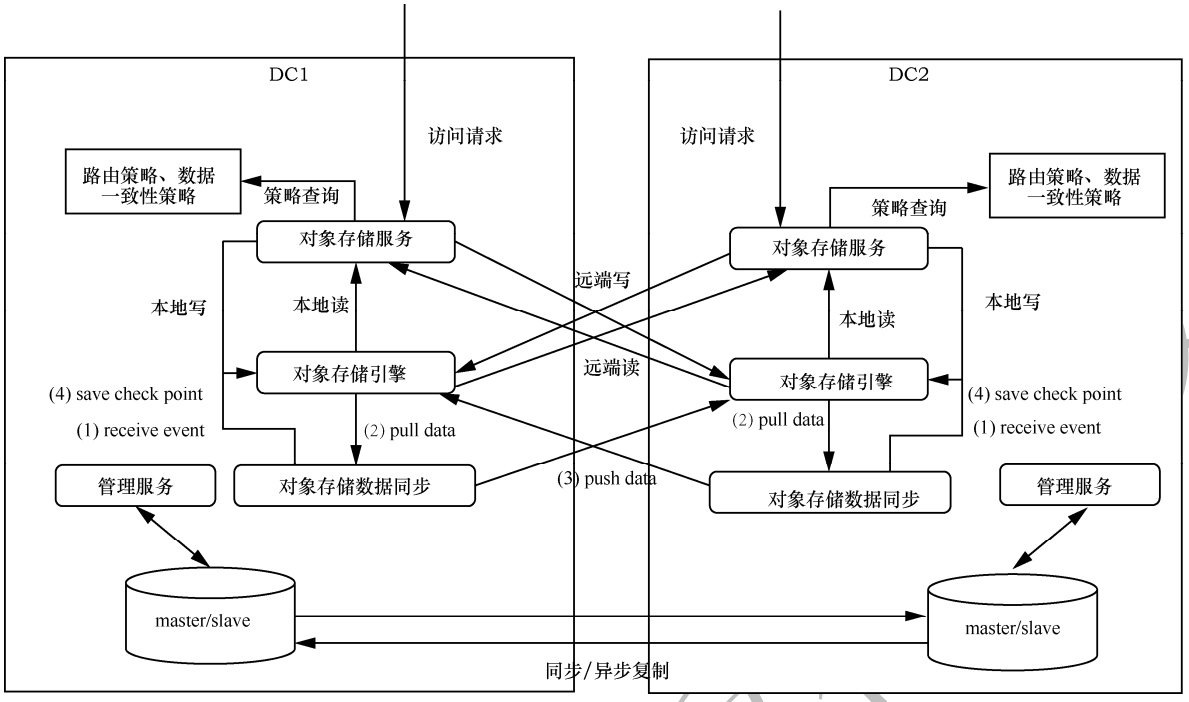


图 3　运行架构

（3）资源数据访问流程

针对写请求：根据请求路由（request routing）获得该资源的写优先列表（write preference list）。根据 consistency strategy 获取该请求的 *W* 值，向写优先列表中前 *W* 个数据中心的 data cell cluster 写数据。

针对读请求：根据请求路由获得该资源的读优先列表（read preference list）。

根据 consistency strategy 获取该请求的 *R* 值，从读优先列表中前 *R* 个数据中心的 data cell cluster 中读数据，保留最新版本（将资源生成的时间戳作为版本号，时间戳由发起写操作的对象存储服务节点生成，并作为资源的元数据保存）。对于两个数据中心且 *W*=1,*N*=1,*R*=2 的情况，可以直接从资源所属地（由于 *W*=1 所以所属地可定）读取一次即可保证最新版本。

（4）账号数据访问流程

数据库中保存的账号数据也按照请求路由中定义的账号所属地做 sharding。每个数据中心的数据库分别作为部分账号的 owner 数据库，对这些账号进行读/写操作，并把数据复制到远程数据中心。

4　结束语

本文提出的解决分布式对象存储跨数据中心的数据同步以及跨数据中心的数据访问的实现方式，就是分布式对象存储/文件系统跨数据中心调度的问题，当系统需要多个数据中心提供可靠性和扩展能力时，仍然能够在接口层统一的命名空间背后提供有效的数据同步和访问调度。

参考文献：

[1] VINI M J, NALLATHAMBY R, ROBIN C R R. A novel approach for replica synchronization in Hadoop distributed file systems[J]. 2015: 590-595.

[2] SHVACHKO K, KUANG H, RADIA S, et al. The Hadoop distributed file system[C]//26th IEEE Symp, MSST, 2010: 1-10.

[3] TANTISIRIROJ W, PATIL S, GIBSON G, et al. On the duality of data-intensive file system design: reconciling HDFS and PVFS[C]//SC, 2011: 67.

[4] SARAVANAN N, BASKARAN R, SHANMUGAM M, et al. An effective model for QoS assessment in data caching in MANET environments[C]//International Journal of Wireless and Mobile Computing, Inderscience, 2013: 515-527.

分布式光伏发电领域工业互联网应用新模型的探讨

那峙雄，王晓岚
（国网电子商务有限公司（国网雄安金融科技集团有限公司），北京 100053）

摘　要：依次分析分布式光伏发电领域特点与实际需求，以 GE 的 Predix 平台作为典型工业互联网平台解决方案，分析其技术实现思路，进而结合行为经济学理论提出增加实现现场作业人员行为管理功能，构建适用于分布式光伏发电领域的工业互联网平台应用新模型，从而使工业互联网平台技术成为推动分布式光伏发电业务领域提升经济效益的有效动力源。探讨内容不仅对该应用场景有着实际经济价值，而且对于完善和创新工业互联网模型也有着研究意义。

关键词：分布式光伏；工业互联网；Predix；行为经济学

1　引言

任何一项技术的适用性需要针对该技术和预期进入的具体应用场景进行特点分析，找到需求结合点并进行适应性修改完善。工业互联网平台是 2012 年美国 GE 公司首先提出的概念，中国工业互联网产业联盟（AII）发布的《工业互联网平台白皮书（2017）》将其阐述为“工业全要素链接的枢纽与工业资源配置的核心”。一方面该技术已迅速成为国内外预期实现引领工业领域升级的热门技术，同时在光伏行业，国内已有众多 IT 公司提出并研发了基于工业互联网技术的解决方案；另一方面还应注意到在美国 GE 公司 7 年投入 40 亿美金之后，Predix 曾作为针对整个工业领域的基础性工业互联网平台，已经放弃成为工业物联网安卓系统的宏伟计划，而把触角收缩到航空、医疗和能源系统 3 个领域。

分布式光伏发电系统作为光伏行业的一个细分领域，是否有应用工业互联网技术的必要？如果必要，那么该技术的典型解决方案是否能够满足该领域的需求特点？如何构建出适用于分布式光伏发电应用场景条件的工业互联网平台？本文将围绕以上问题进行分析研究。

1.1　分布式光伏发电系统特点

分布式光伏发电系统成为近两年光伏市场增长的主力军。其特指在用户场地附近建设，运行方式为用户侧自发自用、用多余电量上网，且在配电系统以平衡调节为特征的光伏发电设施。分布式光伏发电遵循因地制宜、清洁高效、分散布局、就近利用的原则。其主要特点如下。

（1）输出功率相对较小与收益敏感性

分式布光伏发电系统的规模本身就比较小，导致其发电能力完全无法跟集中式的电站相比。分布式光伏发电的发电效率虽不比集中式的电站差，但由于其规模特点，发电收益对于电价收入和成本支出高度敏感。

（2）对公网系统调度产生影响

因为分布式光伏发电系统的规模小，导致作为独立单元并入公网的数量较多，而每一个系统的上网电能不可能完全稳定和相同，这对公网系统的调度都将产生直接影响。

1.2　典型工业互联网平台的解决方案

目前国内外工业互联网平台解决方案所包含的设计思想，依然延续着西方第一次工业革命形成的“机器作为人类之度量”[1]来评判先进或落后的传统思维模式，围绕机器设备类数据为核心构建出信息模型。《工业互联网平台白皮书（2017）》描述该平台解决方案主要涉及内容为：数据采集是基础，工业 PaaS 是核心，工业 App 是关键。美国 GE 的 Predix 平台技术白皮书描述为：Predix 是一个专门构建的综合性工业平台，可以从边界服务至云服务进行部署，对工厂或现场边界设备的装置、数据和应用程序逻辑进行可靠管理，直到连接至云服务器。真正的全球工业互联网平台需要通过连接至各种各样的机器、传感器、控制系统、数据源和设备，提取并分析海量数据。

人民邮电出版社出版

1.3 行为经济学理论有关理论

创立于 1994 年的行为经济学，它将行为分析理论与经济运行规律、心理学与经济科学有机结合起来，以发现现今经济学模型中的错误或遗漏，进而修正主流经济学关于人的理性、自利、完全信息、效用最大化及偏好一致基本假设的不足。根据行为经济学的研究成果，人类大脑中存在着决定行为的两个部位： 伏核（nucleus accumbens）被称为“愉快中枢（pleasure center）”，核磁共振成像仪研究表明，它是对经济收入产生反应的地方，收入金额越高，该中枢兴奋程度也越高；后颞上沟（posterior superior temporal sulcus）被称为 “利他中枢（altruism center）”，它负责人们如何认识他人、如何与他人建立联系以及如何与他人形成亲密关系等，它与人类慈善捐助等利他行为密切相关。大量的实验证明了“愉快中枢”和“利他中枢”不能同时运作，拥有控制权的，不是这个就是那个。当愉快中枢和利他中枢呈对垒之势时，愉快中枢似乎具有“劫持”利他中枢的能力[2]。

2 研究分析

2.1 分布式光伏发电领域应用工业互联网平台的必要性需求

正确的提问是得到一个问题答案的关键，而提问的出发点是对真理的认识以一己方便为准[3]。一切生产都是为了最终满足消费者的需求[4]，那么分布式光伏发电领域使用工业互联网技术必须要满足的消费者需求是什么？

分布式光伏发电系统投入运行后，对设备进行故障检测与诊断，是更有效地提高系统运行的稳定性以及降低光伏发电的成本费用的必要保障。光伏电站的基本设备包括光伏阵列、光伏逆变器、升压变压器等能量转换部件，还包括直流汇流箱、直流配电柜、交流配电柜等电气设备。其中，光伏阵列是光伏系统中的重要组成部分，其成本可占到整个系统的 40%左右。光伏阵列的故障主要有以下 4 种：热斑现象、因光伏电池组件老化导致光伏阵列失配现象、因接线盒错误导致的光伏电池组件开路或短路、光伏电池组件的碎裂。

工业互联网平台应用的模块化、通用化特点能够帮助分布式光伏发电系统以低成本、高效率的方式实现设备运行监控、故障预警、预测性维护、能耗优化，并构建出可以复用的、对现场边界设备的装置、数据和应用程序逻辑进行可靠管理知识库。由此可见工业互联网技术在本领域应用的必要性。

2.2 分布式光伏发电领域应用工业互联网平台的适应性改造

工业领域生产全过程在可以预期的相当长一段时间内还是无法完全离开“人”的劳动，而现有工业互联网平台设计中却没有考虑将人及其作业行为作为生产要素来实现信息采集与分析、控制，从而无法形成一个信息世界与物理世界紧密融合的模型。

分布式光伏发电系统具有的前述特点以及大量的系统并网运行会导致公网对某些地区的用电量需求产生错误的预估，对公网的电能调配也会产生不利的影响；另外系统并网虽可缓解局部地区的电量问题，但有些安装地区属于公网延伸的尾部或是较末端，本身电力的供应稳定性就较低；由此现场运维作业的及时性、有效性，成为制约系统设备长期、稳定运行以提升收益水平的关键所在。工业互联网解决方案虽然能够提供远程设备故障分析等服务，但目前国内分布式光伏发电系统现场很少存在相关自动化或机器人设备，没有与上述云端平台数据分析结果输出对应的现场执行设备，从而这些问题的解决极大程度上依赖于现场人员运维作业内容被及时、正确、完整地真实执行。

基于此，工业互联网技术预期满足分布式光伏发电发电领域的需求时，需要在解决方案设计中增加人及其作业行为类信息并实现管控的设计内容，这不仅对该应用场景有着实际经济价值，而且对于完善和创新工业互联网模型也有着重要的研究意义。

3 新模型建议与注意事项

综上所述，工业互联网平台建议增加对现场作业人员行为管控的功能和与之对应的数据、算法模型等信息，实现提升现场运维管理水平，提高设备可利用率，减少非计划停机时间和次数，方能满足分布式光伏发电系统需求。这里的“人员”需要从人力资源成本的角度考虑，是以成本较高的专业化服务公司的专业人员为主，还是以成本较低甚至无成本的普通人员（如通过系统所有者自行维护）为主？分布式光伏发电系统特点决定了每个系统区域都进行配备专业化运维商人员不现实，无论从数量、质量上都非常难以实现，即使勉强实现，此类费用支出也无法通过系统收益长期支撑。如果可以实现分布式光伏发电系统大多数日常维护工作基于低成本的劳动作业来完成，即就近使

用非专业人员实现大多数日常运维工作和准确故障报修，那么将对长期降低系统日常运维费用支出乃至长期保障收益起到决定性作用。

由于环境的不确定性和复杂性、信息的不完全性以及人类认识能力的有限性，人们的理性认识能力受到心理和生理上思维能力的客观限制，因而导致运维作业行为结果存在不确定性。这正是信息系统分析、判断、处理此类信息的难点所在。行为经济学理论的快速发展为解决上述不确性难点提供了理论依据并使解决成为可能。

（1）使用低成本非专业人员的前提

提升非专业人员的专业知识水平，是使用这类人员的前提。以充分发挥“利他中枢”控制力、降低“愉快中枢”劫持机会为出发点，首先要降低维护专业知识学习的成本和周期，非专业人员使用的指导现场作业 App 页面应更多采用向导式图文并茂、语音提示、视频直播等形式。其次要考虑如何引导 App 交互页面中所要求的作业内容被使用者有效并合规地真实执行，这是成败的关键之处。这样就必须在云端的工业 PaaS 平台中增加现场作业人员行为习惯的数据信息，用大数据技术分析得出具体现场作业人员在作业过程中多数情况下依赖哪类“中枢”控制，从而在针对该作业人员的工业 App 上，定制化推送符合其“利他中枢”决策习惯或可帮助其抑制“愉快中枢”决策的页面内容，实现引导其按作业内容真实合规地完成。

（2）使用低成本非专业人员的过程管理

现场作业过程“事中”管理的难点在于对行为真实性的及时判断。行为经济学研究证明，人发生具体行为时，因造假、认真思考等思想变化，人的自主神经系统将导致血管张力、瞳孔大小、汗腺和唾液腺分泌以及毛发的运动等，并产生相应的生理信号。现场作业过程中增加智能手环、穿戴式视频设备，实时采集现场人员血压、心率、瞳孔等生理信号，通过在云端的工业 PaaS 平台增加基于自主神经系统的生理信号情绪识别知识库来判断作业过程中的行为真实性，这对于实现事中及时管理和事后完善管理提供了有效的数据支撑。

最后还要注意的是，人类大脑的常规局限使它没有足够的能力重构过去的知识结构或信念。一旦接受了一种新的世界观（或对世界某一方面的看法发生了变化），就会立即丧失很大一部分回忆能力，无法回想起自己观点改变之前的那些想法了[5]。当系统运维人员使用了工作 App 一段时间后，使用者会产生习惯性依赖和思考惰性，可能完全改变或无法回想起在原有不熟悉阶段所具有的审慎和认真，极有可能造成人为安全事故，故在平台功能设计中需要特别注意这种情况。

参考文献：

[1] 罗威廉. 最后的中华帝国：大清[M]. 李仁渊, 张远, 译. 北京：中信出版社, 2016: 81.

[2] 奥瑞·布莱福曼, 罗姆·布莱福曼. 摇摆：难以抗拒的非理性诱惑[M]. 鲁刚伟, 何伟, 译. 北京：中信出版社, 2011: 150-156.

[3] 史蒂芬·列维特, 史蒂芬·都伯纳. 魔鬼经济学 1：揭示隐藏在表象之下的真实世界[M]. 王晓鹂, 译. 北京：中信出版社, 2016: 94.

[4] 约翰·梅纳德·凯恩斯. 就业、利息和货币通论[M]. 宋韵声, 译. 北京：华夏出版社, 2013: 36.

[5] 丹尼尔·卡尼曼. 思考, 快与慢[M]. 胡晓姣, 李爱民, 何梦莹, 译. 北京：中信出版社, 2012: 182.

人民邮电出版社

分布式微电网区块链技术系统研究

姜波[1,2]，徐彧[1,2]，贺金红[1,2]，颜拥[3]

（1. 国网电子商务有限公司（国网雄安金融科技集团有限公司），北京 100053;
2. 国家电网有限公司电力金融与电子商务实验室，北京 100053;
3. 国网浙江省电力公司电力科学研究院，浙江 杭州 310007）

摘　要：从分布式微电网电力市场出发，分析了分布式微电网交易市场场景，设计出适合分布式微电网的区块链技术系统架构。分布式微电网区块链技术系统采用物理区块链技术和交易区块链技术的双链结构，保证分布式微电网物理市场运行稳定性要求。通过双链交互，输出电力市场交易数据，促进电力交易金融市场的发展，为电力交易物理市场提供价格发现机制。在两个市场的相互作用下，最终形成一个良性有序的分布式微电网电力市场。

关键词：分布式微电网；联盟链；双链结构

1　引言

作为比特币的底层技术——区块链技术广受关注，被认为是一种网络变革性技术，其在金融等领域的应用正在不断探索之中。从技术特性来看，区块链技术的分布式特性与光伏发电等新能源的分布式特点契合度高，天然适合应用于去中心化、分布式的商业生态系统之中[1-3]。

时至今日，区块链技术在快速发展中，市场中运行的以区块链技术为基础开发的系统主要应用场景是各种“数字货币”，如比特币及各种山寨币，其他领域的大规模应用尚不成熟或未见明显的经济效果。有研究人员研究发现，即使不计算区块本身奖励，比特币的交易成本最高时达到 80 美元，而平均交易成本也将近 1 美元。

比特币交易成本的产生来自于区块链技术的应用模式及其交易机制的设计。首先，比特币区块链技术系统采用的是工作量证明（proof of work，PoW）共识机制，需要大量的算力参与进来。随着节点数量的增多，造成比特币交易成本高且效率低下。

通过比特币区块链技术系统运行的经验可知，当区块链技术应用于其他系统中时，尽管区块链技术本身有很多的优越特性，但并不能保证其应用必然是先进合理的，依然需要考虑其技术特性，并结合所应用系统本身的特点，进行适应性改造。

2　分布式微电网电力市场

传统电力设施作为中心化的设施有优势，但问题也是显而易见的。首先，中心化发电设施必然需要配备大规模、远距离的输电网络，导致电网工程投资额巨大，线路损失大。2017 年，我国电力工程投资总额 8 014 亿元，电源工程与电网工程的投资额分别为 2 700 亿元和 5 314 亿元，电网工程的投资额为电源工程的近 2 倍；线路损失率为 6.42%，电力损耗大致等于风电与太阳能发电量损耗之和。其次，电力工程可靠性随着大电网的复杂性增加而降低，电网断电损失不断增加。

2.1　分布式微电网发展

随着电力市场的不断发展，智能电网、能源互联网等新兴概念不断涌现，各种类型的智能电网装备、智能电表、绿色可再生能源、新型储能系统等逐渐走向成熟，使得电力市场不断由大电网逐步向分布式微电网转变。在分布式微电网中，电力消费者不再是单一的消费者角色，而可能成为消费者/生产者兼而有之的新型电力市场参与者。在此场景下，分布式电源与去中心的电网相结合，极大地降低了电网工程的复杂性，减少大电网投资，实现电力的就近消纳，降低了远距离电力输送的线路损耗。

建立分布式微电网交易平台，集合各参与方，集中开展交易，促进分布式微电网生态体系的发展壮大是分布式微电网发的发展趋势。为了促进分布式发电市场的规范与发展，2017 年 10 月 31 日，国家发改委

东北电力出版社出版

和国家能源局联合发布了《关于开展分布式发电市场化交易试点的通知》(发改能源[2017]1901 号)，提出了诸如电力就近消纳、无需全额上网、电网代收电费等诸多优惠政策措施。

2.2 分布式微电网交易场景

电力交易市场包括期货市场、日前市场、日内市场和实时市场，分布式微电网电力交易市场亦是如此。对于分布式微电网而言，期货市场和日前市场的主要作用在于增强电力市场流动性，形成电力市场价格发现机制，主要功能集中于金融交易及其结算方面。而日内市场和实时市场主要作用在于开展电力供需平衡与交割功能，并实现电力交易协商与交易结算，主要功能集中于物理交割与交易结算。

采取分布式微电网电力现货交易市场需注册与认证的制度，将电力现货交易物理市场与期货交易金融市场分开运行，以减少金融市场的纠纷或波动对物理市场的干扰，保证物理市场的正常有序运行，减少对终端用户的影响。

由于分布式微电网中分布式电源（如光伏、风能）大多具有间歇性特征，在电力交易市场上协调物理市场与金融市场的关系，做好日内市场的现货物理交割的适时匹配是关键。根据北欧电力市场的成熟经验[4]，电力交易日内市场可以采用“价格优先、时间优先”撮合定价机制。

3 分布式微电网区块链技术体系

在分布式微电网系统中，关键技术基础是基于集成相关信息的高速双向通信网络，以保证电力系统及相关控制、交易等信息的及时传送。作为多种信息技术综合而来的区块链技术本身具备的分布式特性，可以作为分布式电力设施、设备的信息传送底层技术架构[5]。随着 5G 网络和物联网技术的不断发展，基于区块链技术的微电网通信容量和速度不断提高，各类电力交易成本将逐步降低，进而会不断驱动更多的本地市场分布式能源生产者加入分布式微电网商业生态圈中来，逐步形成一个良性循环的基于本地市场电力交易生态系统[6-7]。

3.1 区块链技术节点设置

在分布式微电网中，以每个用户单元或者参与者作为一个区块链技术节点，构成一个分布式的电力信息通信网络。不以每一个用电或供电设备作为一个节点，原因在于减少网络复杂程度。设备之间的通信和计算过程过于庞大，一来将消耗更多的能源，二来过于复杂的系统其可靠性可能会出现如同传统的中心化大电网的问题，其结果不仅不节省成本，反而有可能增加成本，降低系统安全可靠性。

另外，在电力交易市场化改革背景下，输配售一体、输配一体售电分开、输配分离等商业模式同时存在，电力交易市场除电源、电网、配电、售电、终端用户等传统参与者外，会出现交易中心、中间交易商、金融机构等新型参与者。对于这些交易主体，也应该赋予其节点，以保证其能够参与电力市场交易。

分布式微电网的节点可分为轻量级节点和全节点，轻量级节点可以参与交易、验证交易、保存与本节点相关的交易区块等；全节点则具备全部功能，即参与交易、验证交易、交易记账、保存区块链技术全部数据等。从成本的角度来看，全节点需要更高的购置成本来进行计算并保存区块链技术全部数据。对于轻量级节点而言，一来日常使用不需要如此多的权限，二来收益难以覆盖成本。

3.2 区块链技术类型选择

区块链技术类型主要有 3 种，即公有链、联盟链和私有链。对于分布式微电网而言，理论上来讲，公有链是最好的分布式对等网络。但是，由于电力资源并非普通商品，如电力系统中需要及时的安全性校核和阻塞管理，以满足网络约束条件，保证电力供应的稳定可靠。因而，从技术可行性的角度看，分布式微电网在现阶段部分功能仍需要采用类似中心化的配置设置加以保障。另外，目前区块链技术为了提高交易速度，正在发展的闪电网络（lightning network）和分片（sharding）技术也是类似于联盟链技术架构，具有很高的相容性。从这个角度来说，分布式微电网采用联盟链技术架构，是具有较高可扩展性的。

从经济性角度来看，作为公有链，由于所有节点权利对等，一方面通信量巨大，达成共识时间较长，影响交易效率；另一方面，随着全网交易的不断累积，区块链技术数据存量会愈加庞大，节点配置成本将是一个巨大的数字，经济性明显不佳。相对而言，联盟链或者分级权限的私有链显然是更经济的技术架构体系。

3.3 共识机制的选择

目前，区块链技术共识机制主要工作量证明机制、权益证明机制（proof of stake，PoS）、股份授权证明机制（delegated proof of stake，DPoS）、零知识证明共

识机制（zero knowledge proof，ZKP）、Ripple 共识机制和实用拜占庭容错机制（practical Byzantine fault tolerance，PBFT）等。分布式微电网采用联盟链技术架构，参与方需要进行注册与认证，节点加入需要申请和身份验证并签订协议。由于各个记账节点采用认证的方式加入区块链技术系统，节点真实可靠，共识算法主要用以解决系统容错问题。拜占庭容错（Byzantine fault tolerance，BFT）算法能容忍任何形式的软件错误和安全漏洞，是一种解决分布式系统容错问题的通用算法。基于拜占庭容错的共识机制已经应用于区块链技术中，如 IBM 的 HyperLedger fabric（联盟链架构）采用 PBFT，Onchain 的小蚁共识算法是 DBFT。为了保证微电网系统信息传递的隐私安全，另外一种有可能的共识算法是零知识证明共识算法。零知识证明共识算法通过正确性、完备性和零知识性，完美地保证了交易信息在传递过程中的隐私保护效果。

3.4 其他技术选择

非对称加密算法：目前，比特币和以太坊均采用 ECC（error correcting code，前向纠错）算法。为了满足自主可控的原则，分布式微电网联盟链的加密算法可以选用类似于 RSA 的 SM2 算法。

消息摘要算法：目前比特币的加密算法以 SHA256 为主。SM3 算法是在 SHA256 基础上改进实现的一种算法。二者运算速度与安全性大致相同。

智能合约：封装各类交易合约，根据合约规则，及时计算相关数据并返回。保存于区块链技术系统中，促发交易规则即自动运行。

其他如 P2P 网络、时间戳、分布式数据库均可采用比特币区块链技术相同技术。

3.5 微电网双链结构

由于电力生产与消费的特点，电力商品不同于一般商品，具有实时性特点，为了保证电力系统运行的稳定可靠、安全及时，电力生产与输配等专业的事情交由专业的机构来负责，有必要将电力运行的控制与交易系统独立开来，减少由于交易商之间的纷争而导致的电力系统物理运行不畅。如此一来，便形成了电力系统物理运行区块链（physical blockchain，PB）技术与电力交易区块链（financial blockchain，FB）技术。

对于电力系统物理运行区块链技术而言，具体控制和记录电力系统运行的各项物理参数，以保证电力系统的运行顺畅，并将相关数据及时反馈至电力交易区块链技术。

通过以上分析，可以为分布式微电网搭建一个如此类型的区块链技术系统：节点分为轻量级节点和全节点、采用拜占庭容错算法作为共识机制、采用 SM2 和 SM3 加密算法、搭载智能合约的双层区块链技术联盟链。双链结构如图 1 所示。

4 分布式微电网交易制度

在分布式微电网电力交易市场中，主要参与方包括电力交易平台、发电商、输电公司、配电公司、售电商、终端用户以及电力金融产品交易平台、交易商、经纪人等，涉及的交易合约有远期合约、日前合约、日内合约和实时合约，价格参数则涉及发电定价、输配定价（包括损耗）、无功定价、政府补贴、政府性基金及附加等。分布式微电网参与方众多、合约类型复

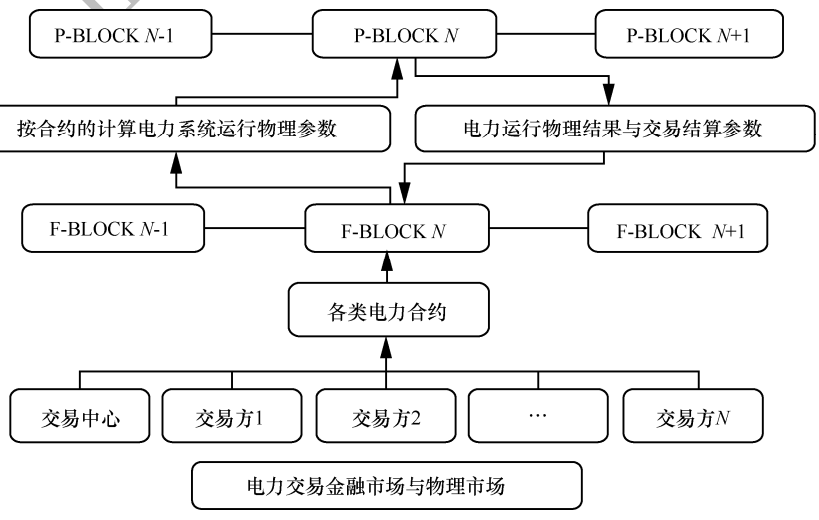


图 1 微电网区块链技术双链结构

杂、价格参数多，为了保证电力系统的规范有序运行，有必要对交易过程进行规范化处理。

4.1 交易制度

认证与注册制度。为了保证电力系统物理运行的稳定、实时与安全，涉及的电力系统物理运行方均需采取严格认证与注册制度。对于金融性的交易方，主要是买卖各类合约，提高电力市场资产流动性，则无需采用相关制度。

强制管理制度。对于物理交易商而言，在远期市场、日前市场和日内市场可以依据电力市场远期和近期状况实时采取不同的灵活报价策略；一旦进入实时市场，则需服从强制性原则，即以保证电力物理市场的稳定运行为基础，强制性参与运行。

交易结算制度。对于远期合约等不影响物理市场运行的金融性合约，采取实时结算的方式进行；对于实时合约，则需依据物理市场的实时运行结果，采取分时段结算的方式进行。

4.2 交易结算

由于微电网电力系统运行过程中面临着各类物理问题，比如线路故障、分布式发电设备出力不均衡等，分布式微电网的交易结算面临诸多问题。为了保障电力系统的稳定运行，在电力交易物理市场系统，首先需要协商好各类定价，然后依据电力系统实际运行物理参数，结合各类价格指数、政府补贴、政府性基金，计算各类交易费用并实时结算。为了保证交易的公平性，各类价格指数公开，采取每日竞价、落地结算的方式进行。

微电网电力交易金融市场作为提高微电网电力市场各类资产的金融化平台，主要是提高电力资产流动性，为物理市场提供价格发现机制的作用。

在分布式微电网电力交易系统中，可以公开准确地记载各类绿色能源的交易状况，将其碳减排数据集中起来，即可形成碳排放权证，参与大电力市场绿色金融交易。

5 结束语

区块链技术在市场的推动下，虽然基础技术架构基本成型，但具体技术细节还在不断发展过程中，应用于工程实践尚待成熟。本文从比特币区块链技术出发，初步设计适合分布式微电网的区块链技术系统架构，采用双链模式，保证分布式微电网物理市场稳定性要求。通过双链交互，输出电力市场交易数据，促进电力交易金融市场的发展，为电力交易物理市场提供价格发现机制。在两个市场的相互作用下，最终形成一个良性有序的分布式微电网电力市场。

参考文献：

[1] WANG J, WANG Q G, ZHOU N C, et al. A novel electricity transaction mode of microgrids based on blockchain and continuous double auction[J]. Energies , 2017, 10(12): 1971.

[2] KANG J K, YU R, HUANG X M, et al. Enabling localized peer-to-peer electricity trading among plug-in hybrid electric vehicles using consortium blockchains[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2017, 6(13): 3154 - 3164

[3] CHENG S, ZENG B, HUANG Y Z. Research on application model of blockchain technology in distributed electricity market[C]//Iop Conference Series: Earth & Environmental Science, 2017, 93(1): 012065

[4] 周明, 严宇, 丁琪, 等. 国外典型电力市场交易结算机制及对中国的启示[J]. 电力系统自动化, 2017, 40(20): 1-8.

[5] 鲁静, 宋斌, 向万红, 等. 基于区块链技术的电力市场交易结算智能合约[J]. 计算机系统应用, 2017, 26(12): 43-50.

[6] 郜雪, 孙宏斌, 郭庆来. 能源互联网中基于区块链技术的电力交易和阻塞管理方法[J]. 电网技术, 2016, 40(12): 3630-3638.

[7] 张俊, 高文忠, 张应晨, 等. 运行于区块链技术上的智能分布式电力能源系统：需求、概念、方法以及展望[J]. 自动化学报, 2017, 43(9): 1544-1553.

人民邮电出版社出版

工业互联网体系下车间单机设备运行模型

许冰，刘艳芳
（北京中电普华信息技术有限公司，北京 100192）

摘　要：工业互联网借助互联网技术把设备与设备连接起来，把资产、智能设备和人连接起来。运用大数据的挖掘和分析技术，旨在实现更高效和更可靠的生产运营，持续优化设备的综合利用率。以能源装备行业为切入点，分析了能源设备在工业互联网中所扮演的角色，为了实现工业互联网所要达到的目标，分析了能源装备行业的车间单机设备运行模型的重要性，最后结合“人机料法环”的理论，总结了车间单机设备的运行模型。

关键词：工业互联网；能源装备；人机料法环；车间单机设备的运行模型

1　引言

近年来，以移动互联网、云计算、大数据、物联网、人工智能为代表的新一代信息技术正日趋成熟并得到广泛应用，一方面，说明我国社会正在从劳动密集型向技术密集型转变，另一方面，说明了工业互联网的这波浪潮并不是凭空想象的。随着这些技术的快速发展，物理世界和信息世界的不断融合[1]，全球制造业正从数字化阶段加速到网络化阶段，工业互联网云也应运而生。全世界范围内，一些领先的制造企业、领先的 ICT 企业以及互联网主导的企业也在这一领域不断地探索，基于各自的优势，从不同层面与角度密切关注和探索工业互联网云平台业务。目前，中国、美国、德国、日本等国家均在国际和国内产业形势判断下做出“互联网+先进制造”的决策，且都注重 CPS 技术在未来工业发展中的核心地位，在信息、情报、网络、全局化等领域投入巨量的人力物力进行不断地创新研究，取得了一些进展：中国和美国的 IaaS 基础设施能力较强，且正从互联网行业扩张到其他行业；美国和德国的工业 “know-how（技术诀窍）”和设备数字化基础优于中国；但是中国的互联网生态基础最好，并且 SaaS 应用的潜力最大。相对于美国、德国、中国，日本的工业互联网发展是相对滞后的，但是日本的管理理念比较先进，因此我国可以在进行智能制造的顶层设计过程中，通过结合自身制造业现状和吸收日本先进管理理念，进而不断地完善我国的智能制造系统架构。总之，谁善于利用先进的信息技术，谁在未来就有更多的数据资源可拥有；谁善于工业互联网的应用创新，谁就会在发展信息经济上赢得先机，也就能在未来的竞争发展中占据有利地位[2]。

无论国内还是国外，工业互联网其本身的研究都还处于刚刚起步的阶段，但是工业控制系统、传感网络和物联网等相关方面的研究成果已经相当丰富。我国工业信息化、智能化总体水平落后，并且多数企业仍处于“工业 1.0”“工业 2.0”的水平，能够达到“工业 3.0”的企业仍占少数。随着我国供给侧结构改革的进一步深入，工业企业的产能过剩问题亟待解决。事实上，这也是当前我国“两化深度融合”[3]政策的出发点。能源工业结构的调整加快，技术创新取得进展，体制改革步伐加快，市场机制逐步完善，能效得到提高，环境保护得到加强。这些变化离不开先进能源装备的支撑。能源装备的进步不仅是能源工业发展的前提，也是带动能源工业结构调整和节能减排的重要手段。另一方面，能源工业的加快发展，也为国内装备制造业升级提供了广阔的市场需求和难得的历史机遇，两者相辅相成、相互促进[4]，因此对工业互联网体系下车间单机设备的运行模型进行分析是有必要的。

2　工业互联网体系

我国一直都有“工业互联网”的概念，只是没有普及。上海可鲁系统软件有限公司已经在 2004 年提出工业互联网的概念，且不仅限于概念，而是一直在努力研究如何把工业中的各种设备使用互联网达到互联互通。工业互联网是全球工业系统与先进的计算、分析、感应技术以及互联网连接相结合的产物。通过智

广东电力出版社出版

能机人机连接，结合软件和大数据的分析，重构了全球工业、提高了生产力，让人们所在的世界更好、更快、更安全、更清洁以及更舒适。从技术的角度，工业互联网可以说是一个交叉性学科的混合应用，这里涉及了 3 个领域的问题：一是工业信息安全，二是网络通信技术，三是广域自动化。只有把这 3 个领域的技术很好地融合在一起，才能够构建一个以工业互联网为基础的架构。也可以从另外两个角度去理解工业互联网：一是依托公众网络连接专用网络、局域网，现在企业里有很多局域网络，比如石油传输管线、铁路交通、电网等；二是以生产自动化为基础，实现企业的全面信息化，进而成为工业互联网。

工业互联网体系架构如图 1 所示，其顶层是应用，底层由网络、数据、安全三大部分组成，首先网络的互联是基础；其次，数据是核心，以数据为核心形成的智能化生产控制和智能化运营决策优化两大智能化闭环，这两大闭环都是基于互联和数据流，是智能工厂的核心；而安全性则是工业互联网各个领域和环节的重要保证。

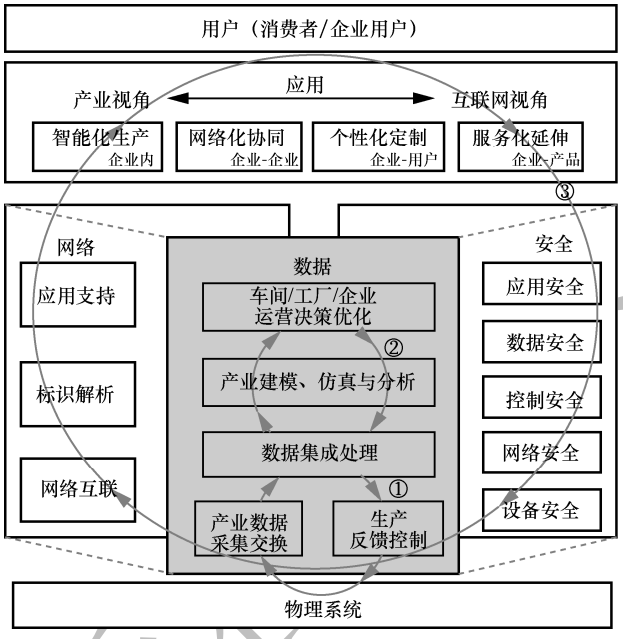


图 1 工业互联网体系架构

从“工业 1.0”到“工业 4.0”的改革如图 2 所示，“工业 4.0”解决的一些关键问题是：制造产品的 IT 大规模定制，其中生产必须适应非常短的批次甚至个人需求；生产链的自动和灵活适应不断变化的要求；零件和产品的跟踪和自我意识以及它们与机器和其他产品的通信；改进的人机交互范例，包括与机器人共存或在工厂中进行交互和操作的全新方式；智能工厂由于支持物联网通信而优化生产；出现了全新的服务类型和商业模式，为价值链中的新型互动方式做出了贡献[5]。无论是德国“工业 4.0”还是中国的“两化融合”，其核心竞争力在于深刻了解市场需求，通过物理世界与数字世界的结合，最终结果导向“进一步提升生产

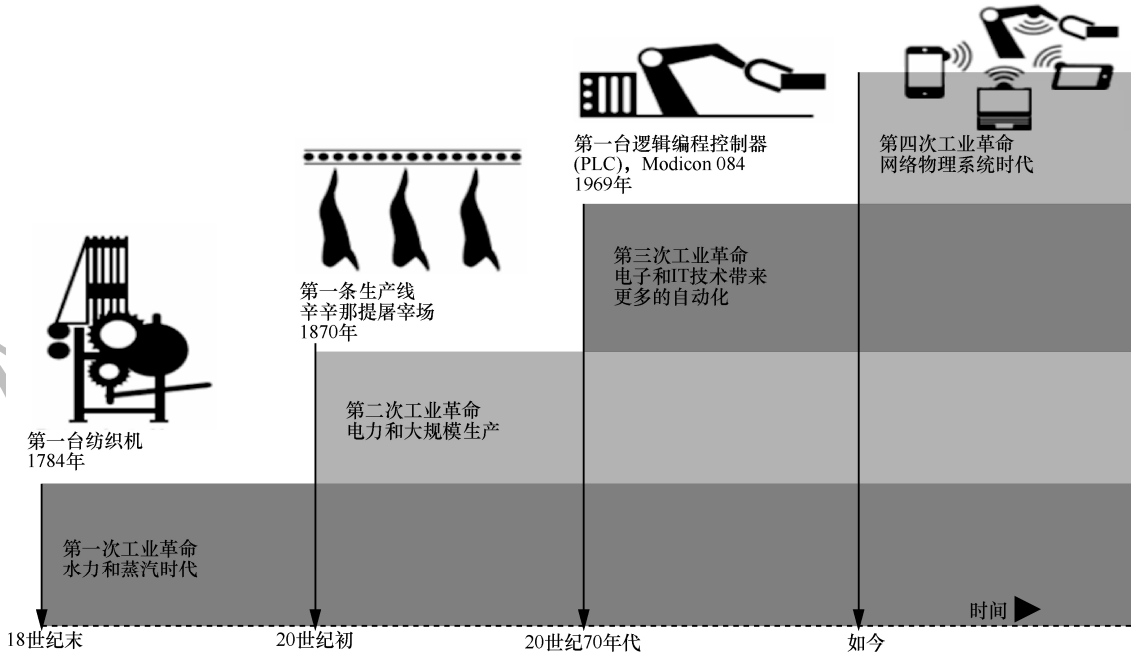


图 2 工业的 4 个改革阶段

力”，在这个过程中也会产生新的商业模式。在工业互联网模式下，企业能够通过信息化手段优化产能配置并在线进行闲置产能的交易，提高产能使用率。与物联网相比，工业互联网领域有着几乎相同的特性，但工业互联网更侧重于自动化、连接和普适信息，网络安全，智能机器人，产品生命周期管理，语义技术和工业大数据等方面。

3 能源设备

3.1 能源设备在工业互联网中扮演的角色

在过去 20 年内，互联网的发展可以分为商业互联网、信息互联网和社交互联网三大类，它们分别代表着人与商品的连接、人与信息的连接、人与人的连接。而近两年话题热度不断的工业互联网代表着谁与谁的连接呢？实体经济与信息化的融合构建了工业互联网，从而颠覆了传统只有靠人脉才能找到买家或卖家的弊端，通过工业互联网就可以完成了制造厂商间的连接或制造厂商与用户的连接。

作为工业互联网中不可或缺的连接对象——制造厂商，能源设备是其重要的支撑，无论制造厂商是直接还是间接所拥有的能源设备，几乎都可以称为工业互联网的连接对象，但并不是互联网中能源设备作为商品进行交易，而是能源设备所生产的一定量的产品的交易。

3.2 能源装备行业的车间单机设备运行模型的重要性

依据“中国制造 2025”的指导思想、战略部署、基本方针和战略举措，“互联网＋先进制造业＋现代服务业”将成为中国经济发展的新引擎，实现由制造大国向制造强国的转变，已经成为新时期我国经济发展面临的重大课题[6]。制造业数字化网络化智能化是新一轮工业革命的核心技术，应该作为“中国制造 2025”的制高点、突破口和主攻方向。对于能源装备行业，制造业智能化既是对能源设备的智能化改造。

能源设备智能化迈出的第一步是单机设备的智能化改造，那么在工业互联网体系下，首先了解能源行业的车间单机设备运行模型，然后再去进行设备改造，这样的流程才是达到能源设备智能制造的捷径。

4 车间单机设备运行模型

本章阐述了“人机料法环”理论，并基于该理论，分析了车间单机设备的产能影响因素，进而抽象出车间单机设备运行模型。

4.1 人机料法环

在全面质量管理理论中，“人机料法环”是影响产品质量的五个主要因素，如图 3 所示，“人”，指参与制造产品的人员；“机”，指用于制造产品所用的设备；“料”，指制造产品所用的原材料；“法”，指用来制造产品的方法；“环”，指制造产品的环境。其中“人”是其他 4 个因素的环绕核心，也是生产管理中最难的一个环节。

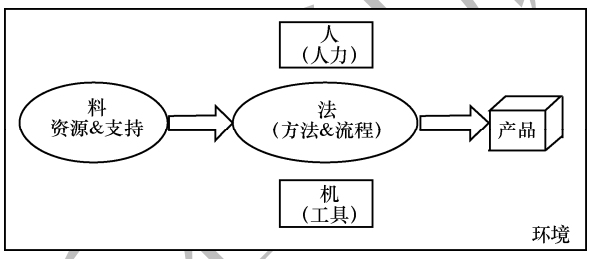


图 3 人机料法环

4.2 车间单机设备的产能影响因素

车间单机设备产能是工业互联网中的能源设备角色的另一种理解，第 2.1 节中有提到过能源设备生产一定量的产品是通过工业互联网进行交易的，而这一定量的产品可称为“产能”，即工业互联网是产能的交易或是产能间的连接。车间单机设备的产能是最小的产能单元，所以只需分析车间单机设备的产能影响因素即可，本节以能源设备行业中的电缆生产设备为例，结合“人机料法环”理论进行车间单机设备的产能影响因素分析。

在电缆的这样的一个单机设备运行中，基于“人机料法环”理论进行以下分析。

- 料，单机设备运行的起始就是将原料或者上一工艺的产品加工成产品或者下一个工艺的原料。它是单机设备产能最基础的影响因素。
- 人，无论是自动化的程度深浅都离不开人力的投入，哪怕只是通过摄像头观看整个车间的运作状况。每一个人的具有不同的性格特点，不同的工作态度，以及对产品质量的不同的理解，这样的差异是影响车间单机设备的产能的因素之一。
- 法，顾名思义，法则。指生产过程中所需遵循的规章制度，包括工艺指导书、标准工序指引、生产图纸、生产计划表、产品作业标准、检验标准、各种操作规程等。
- 环，指环境。不同的产品所需要的车间环境规

格不同是常识，所谓车间环境规格通常是指一定的温度、湿度、粉尘、含氧度等因素。

除了以上 4 个方面，单机设备的产能还会受到设备自身的影响，如原料成本、设备折旧、设备吞吐量、产品后期的检修等。

综合以上几方面，对这些影响因素进行重新划分，从而得到了车间单机设备产能的五方面影响因素即“量价质能环”，如图 4 所示。

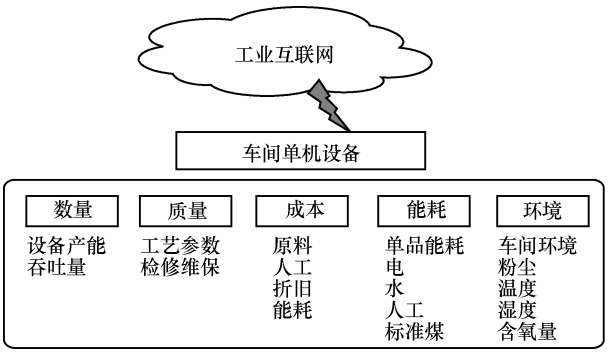


图 4　车间单机设备产能的影响因素

5　结束语

在工业互联网体系的背景下，通过对能源设备在工业互联网中所扮演的角色进行分析，理解工业互联网与已有各种商业网络的差异，并结合“人机料法环”理论，分析影响车间单机设备产能的因素，将这些影响因素划分之后，进而得出“量价质能环”的车间单机设备运行模型。在之后的车间智能改造中，可以根据车间单机设备运行模型进行数据采集方式的选取、采集对象的选取等一系列的智能改造前期准备。

参考文献：

[1] 胡晶. 工业互联网, 工业 4.0 和“两化”深度融合的比较研究[J]. 学术交流, 2015(1): 151-158.

[2] 肖拥军, 王伟玲. 发展信息经济率先抢占全球战略竞争制高点[J]. 中国科学院院刊, 2015, 30(2): 137-147.

[3] 李培楠, 万劲波. 工业互联网发展与“两化”深度融合[J]. 中国科学院院刊, 2014, 29(2): 215-222.

[4] 张国宝. 我国能源装备现状和面临任务[J]. 电业政策研究, 2007(3): 3-11.

[5] KAGERMANN H, HELBIG J, HELLINGER A, et al. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group[M]. [S.l.:s.n.], 2013.

[6] 周济. 智能制造——“中国制造 2025”的主攻方向[J]. 中国机械工程, 2015, 26(17): 2273-2284.

人民邮电出版社出版

工业生产公共广播系统架构优化

詹建礼，陈兵，李清华
（中国广核电力股份有限公司，广东 深圳 518124）

摘　要：某工业园区广播系统设备品牌不统一、核心广播设备无热备份、网络系统架构散乱、系统监控功能不全，导致广播系统运行不稳定。主要介绍了从硬件架构、网络架构和系统监控 3 方面对工业园区公共广播系统进行整体优化。优化后消除系统现有缺陷，同时拓展系统监控功能。

关键词：广播；优化；网络架构；监控

1　引言

某工业园区的公共广播系统是随着 3 个工厂分期建设而扩建，各工厂之间广播系统设备品牌不统一、核心广播设备无热备份、网络架构散乱、使用交换机数量较多、系统监控功能不全。以上缺陷导致广播系统存在系统运行不稳定的隐患。为提高广播系统的稳定性和可靠性，需对广播系统硬件架构、网络架构和系统监控进行优化。本文主要介绍了从广播系统硬件架构、网络架构和系统监控 3 方面对广播系统进行整体优化。

2　现状

2.1　系统简介

园区广播系统分为 A 工厂、B 工厂、C 工厂、办公生活区 4 个区域，每个区域各有一套独立的 X 系列广播系统。每一套系统处理各自区域的广播音频控制和操作台管理控制。4 个区域的广播系统连成统一网络，使 3 个工厂和办公生活区的广播操作台能够对任意一个区域或整个工业园区发出生产广播和紧急广播。园区广播系统主要由广播服务器、输入接口机、输出接口机、交换机、广播操作台、交换机、功率放大器、扬声器、传输线路等部分组成。X 系列广播系统原理如图 1 所示。

2.2　存在的主要问题

广播系统网络系统架构散乱和使用交换机数量较多导致网络的跳跃节点超过 6 个，X 系列广播系统使用的是 CobraNet 协议，此协议要求在典型 100 BASETX 交换机中的转发延时在任何 2 个 CobraNet 设备之间的可变性限制跳跃数最大为 6 个，以保证转发时延在限制范围内。

- 网络结构无冗余链路，存在较多单点故障点，

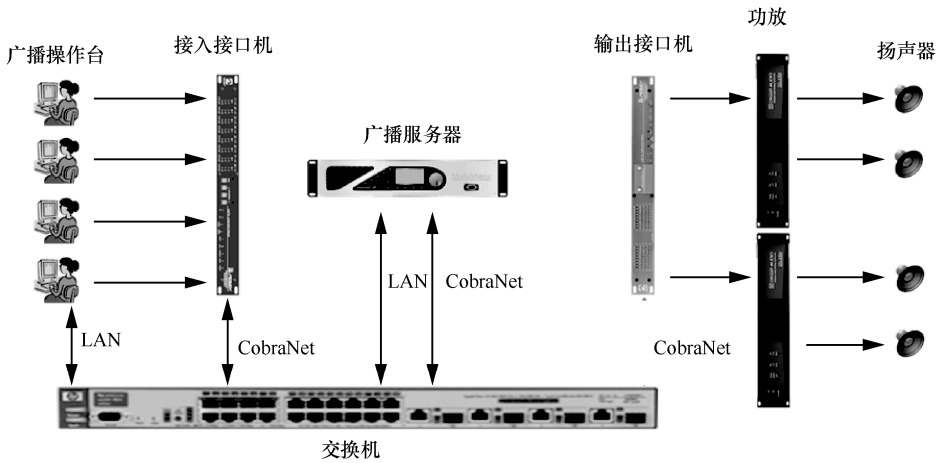


图 1　X 系列广播系统原理

链路出现故障，会导致系统大片区域不可用。

- 广播服务器属于核心设备无热备份设计，发生故障会导致整个区域广播不可用。
- 广播音频输入、输出接口设备无热备份设计，音频接口设备发生故障会导致部分区域公共广播系统不可用。
- 广播系统监控功能不完善，缺少网络交换机、功放、切换器等设备的监控和远程控制功能。

3 系统优化目标

（1）优化网络架构

核心机房之间交换机采用双环形网络结构，实现机房之间网络冗余；机房内交换机增加热备份交换机，实现机房内网络热备份，消除网络单点故障；核心机房主交换机与广播操作台采用星形拓扑结构连接，减少网络节点，消除网络时延导致的系统故障。

（2）优化硬件架构

广播服务器、音频输入接口机、音频输出接口机增加热备份，核心硬件架构实现热备份，消除广播系统硬件设备单点故障。

（3）优化系统监控功能

升级监控软件，广播服务器、音频接口设备、网络交换机、功放等设备实现实时状态查询和远程控制。

4 系统架构优化实施方案

4.1 广播系统网络架构优化

优化前广播系统主交换机无热备份、办公生活区交换机网络连接方式散乱、A 工厂采用环形结构方式连接且使用交换机数量较多、广播网络交换机的跳跃节点较多，容易导致广播系统运行时出现连接不稳定或设备报错等故障。优化前广播系统网络架构如图 2 所示。

优化后 A 工厂、B 工厂、C 工厂和办公生活区 4 个核心机房各配置两台主交换机，两台交换机之间做堆叠，4 个核心机房之间组成两个环网，当其中一台主交换机出现故障后，另一台主交换机继续工作，保证广播系统网络的畅通；每个区域内的控制和音频传输网络改造为星形拓扑结构标准吉比特以太网连接方式，减少网络节点：

- A 工厂内的网络结构由原来的多个交换机环形结构，改为星形拓扑结构连接的吉比特以太网，增加热备份交换机；
- B 工厂内的网络结构为星形拓扑结构连接方式无需修改，增加热备份交换机；
- C 工厂内的网络结构为星形拓扑结构连接方式无需修改，增加热备份交换机；
- 办公生活区的网络结构由原来的两路交换机环形拓扑结构，改为星形拓扑结构连接的吉比特以太网，增加热备份交换机。

优化后广播系统网络架构如图 3 所示。

4.2 广播系统硬件架构优化方案

优化前广播服务器、音频输入接口设备、音频输出接口设备无热备份设计，如设备发生故障会导致大片区域公共广播不可用。优化前广播系统硬件架构如图 4 所示。

X 系列广播服务器是整个广播系统的控制、处理和管理的核心，负责音频信号的输入、处理、路由和输出，采用 CobraNet 网络音频技术，完成系统的所有

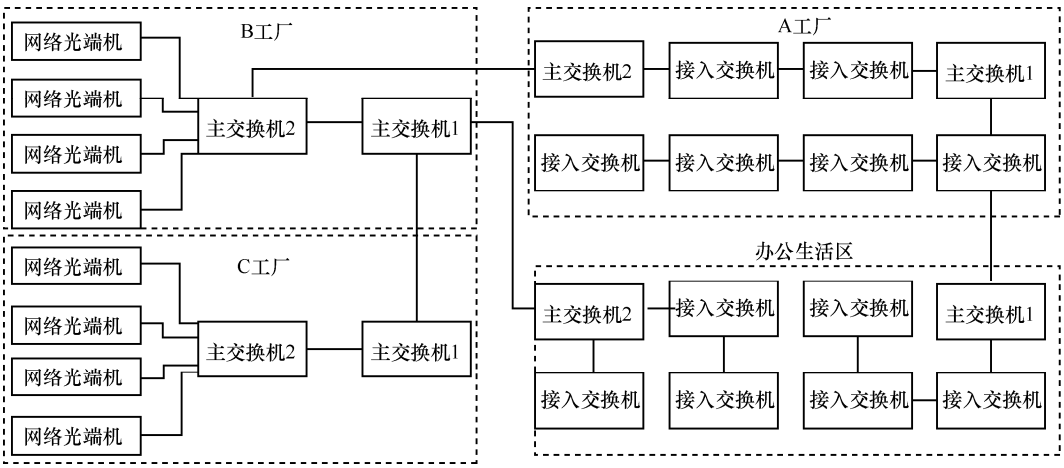


图 2　优化前广播系统网络架构

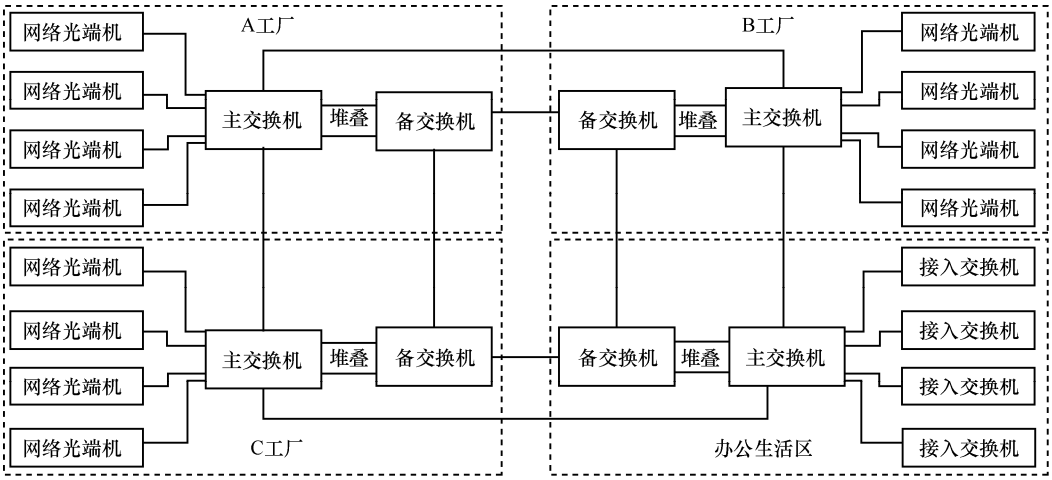


图 3　优化后广播系统网络架构

功能，广播服务器具有 2 个 CobraNet 接口，2 个 CobraNet 接口分别接至主用交换机和备用交换机，当主服务器出现故障时，自动切换到备用服务器，当主服务器故障恢复后，系统自动切换回主服务器；当主用交换机至主用服务器 CobraNet 接口出现故障时，自动切换到备用交换机至主用服务器 CobraNet 接口。

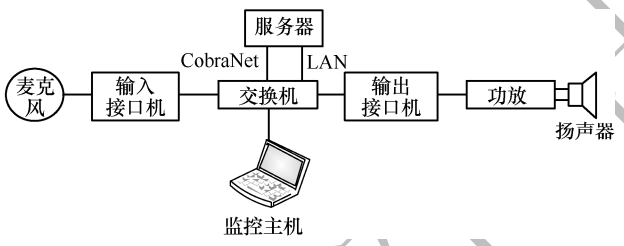


图 4　优化前广播系统硬件架构原理

X 系列输入接口机将模拟音频通过采样、量化转换成数字信号，再把数字音频信号打包成 CobraNet 网络音频数据，传输到广播系统的局域网上。连接广播操作台话筒，输入接口机具有 buddy link 接口，使用同轴电缆连接主输入接口机的 out 口到备用输入接口机的 in 口，实现输入接口机实时备份，当主输入接口机出现故障时，无缝连接到备用输入接口机。

X 系列输出接口机是将 CobraNet 网络数字音频转换成模拟音频信号，连接功率放大器，输出接口机具有 buddy link 接口，使用同轴电缆连接主输出接口机的 out 口到备用输出接口机的 in 口，实现输出接口机实时备份，当主输出接口机出现故障时，无缝连接到备用输出接口机。

广播系统硬件架构优化后，消除硬件架构单点故障，提升了广播系统稳定性。优化后广播系统硬件架构如图 5 所示。

4.3　广播系统监控方案

增加一台监控主机，监控主机安装 N 系列软件，升级软件实现对所有广播服务器、输入输出接口机、功放、切换器、广播操作台等设备进行监控，监控的

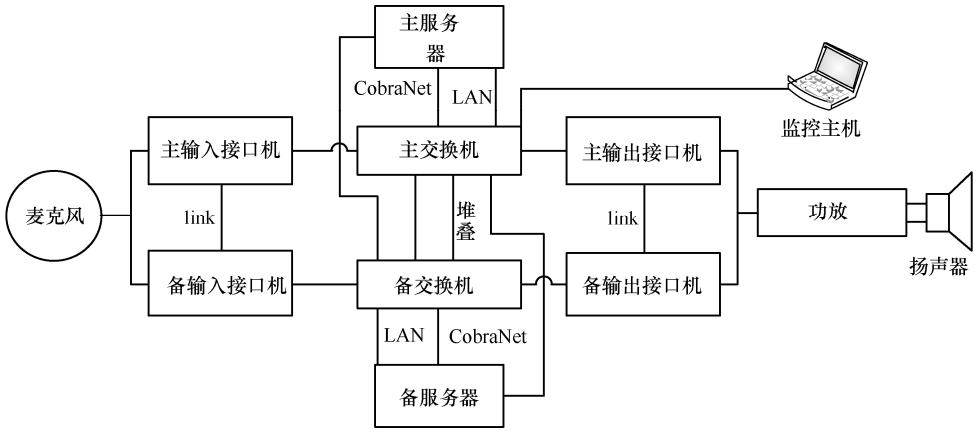


图 5　优化后广播系统硬件架构原理

内容包括设备运行状态、各控制通道运行参数、各语音通道运行参数、故障报警提示、故障日志等，还可实现对各设备的远程操作。

N 系列软件是一套基于 Windows 操作系统的界面编辑软件，它用于设计、编译和控制广播服务器，控制输入输出接口机设备；软件的远程服务允许通过独立控制器、终仿真器、PLC、网络终端、Telnet 终端、远程定时器等设备来同时控制系统；软件里面有音响周边模块和控制工具（包括嵌入式软件/硬件，支持 SUMP、nCntrol 包，还有一个矢量图形用户界面），可以直观地对每个周边设备进行控制，可以利用网络对信号进行分配，适合几乎所有的大型或小型音频工程。

4.4 系统兼容

使用原品牌 X 系列广播服务器和接口机，目前已与 Q 系列广播功放设备和 B 系列广播功放设备实现对接，运行正常，系统的兼容性稳定、可靠。

5 结束语

采用本文优化设计方案并经深化论证后，立项改造工业园区广播系统。本次系统改造只针对硬件架构、软件架构和联网架构 3 方面对工业园区在用公共广播系统进行整体优化。改造后消除系统原有缺陷，同时拓展系统功能。不改变广播操作终端，因此改造后的广播系统对使用人员和维护人员没有造成任何不适。改造后的广播系统软件硬件性能均得到提升，对于系统的运行和维护均能提供方便和帮助。

参考文献：

[1] 工业和信息化部. 公共广播系统工程技术规范: GB 50526-2010[S]. 2010.

[2] 中国建筑标准设计研究所. 建筑电气设计规范: JGJ 16-2008[S]. 2008.

[3] 中国国家标准化管理委员会. 工业以太网交换机技术规范: GB/T 30094-2013[S]. 2013.

人民邮电出版社出版

故障注入攻击 XYZ 平台扫描位置可视化交互集成方法研究

齐振彬 [1,2]，王喆 [1,2]，甘杰 [1,2]

（1. 北京智芯微电子科技有限公司国家电网公司重点实验室电力芯片设计分析实验室，北京 100192；
2. 北京智芯微电子科技有限公司北京市电力高可靠性集成电路设计工程技术研究中心，北京 100192）

摘　要：故障注入攻击是目前非常有效的一种芯片安全检测方法，以荷兰 Riscure 公司产品 Inspector 为代表的故障注入设备采用的是以人工估算位置的方式对芯片内部的某个精确区域实施攻击，此种方式存在人为引起的误差较大的问题；后续版本中加入了红外摄像头定位的方式，此种方式能够实现芯片内部精确位置的攻击，但在攻击过程中由于芯片对红外线有感应，因此不能保持常开状态。分析 Inspector 平台底层代码运行原理和过程，提出了一种扫描位置可视化的交互集成方法，在实际的故障注入攻击检测中，可以解决上述问题，实现对芯片内部位置的精确定位。

关键词：故障注入攻击；可视化；交互集成；精确定位

1　引言

在智能卡安全领域中，故障注入攻击是目前非常有效的一种攻击方式[1-2]，现已成为国际和国内检测机构普遍应用的安全检测项。故障注入是一种在芯片运行时注入激光、电磁、电压或时钟毛刺等异常的攻击方式[2-5]，芯片会产生复位或有损安全的敏感数据等，攻击时设定的攻击参数和攻击区域会对攻击成败产生影响。当在芯片内部的某一区域内出现错误数据时，需要对此区域进行精确定位攻击[4,6-7]。

在以 Inspector 为代表的故障注入攻击过程中，实施精确定位需要手动确定芯片与版图的对应关系和尺寸关系，然后手动算出攻击点的坐标值，在每次攻击测试中均需要进行此步骤，人为参与因素太多，导致定位位置不够精确，极易产生错误，且效率比较低。

鉴于此原因，需研究一种新的可视化交互方法，实现此人为的操作过程，即在扫描确定多个目标位置后，能够按照设定好的参数顺序在各个位置进行攻击测试，实现固定点攻击自动化进行，减少人工计算坐标位置的过程，提高测试效率。

本文提出的故障注入攻击扫描位置可视化交互集成方法，可以很好地实现对芯片内部位置的精确定位，达到与红外摄像头同样的观测精度，同时避免了红外线对芯片的影响。

2　故障注入攻击扫描位置可视化交互思路分析

通过查看和分析 Inspector 平台的反编译代码，可在 Inspector 平台的故障注入模块中增加加载版图的链接按钮，采用外挂辅助模块的方式实现版图和芯片表面对应关系和尺寸关系的交互。在执行故障注入攻击操作前，通过辅助模块实现版图信息和平台位置的交互，设定芯片边界，划定所需攻击扫描的范围，并自动和平台参数坐标转换后回传给故障注入攻击设备，如图 1 所示。

为了实现上述交互的可行性，需在辅助模块中增加芯片版图显示，实现版图的正面和背面自动转换功能，并能根据读卡器的实际插卡方向对辅助模块加载的版图实现响应方向的旋转操作。

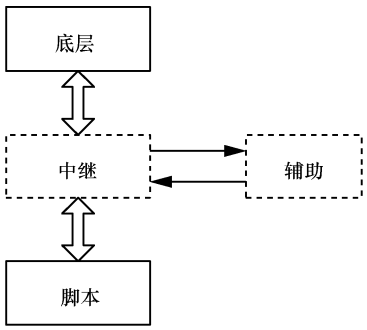


图 1　扫描位置可视化交互实现原理

3 扫描位置可视化交互方案设计

3.1 交互方案原理

故障注入攻击 XYZ 平台扫描位置可视化交互集成方案是基于改写故障注入攻击测试脚本继承的底层父类来实现所需要的版图加载及定位功能，因此可以以此作为故障注入攻击 XYZ 平台扫描位置可视化交互集成开发的突破口，对此类进行重新改写，加入所需要的代码，实现版图界面的加载和相应的功能，即图 2 中的 SmartCardOpticalPerturbationExt.java 和 LayoutDialog.java 两个类。

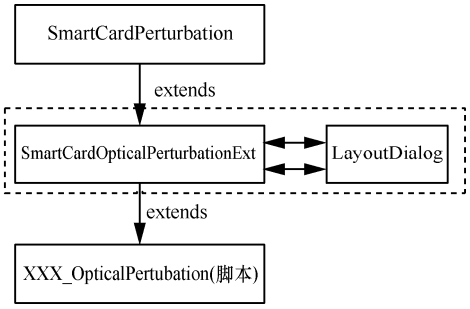


图 2 扫描位置可视化交互方案设计原理

3.2 交互方案设计

（1）模块调用

在故障注入攻击测试实验中，编写的脚本都会继承同一个父类，因此可以对此类进行修改和添加操作，即在脚本中修改继承的类。

（2）子面板的加载实现

通过查看分析所继承的同一个父类中的代码，可以得到此类中各方法的调用顺序，如图 3 所示，通过对 initTab()方法的修改，可以实现版图文件（load layout）子面板的加载。

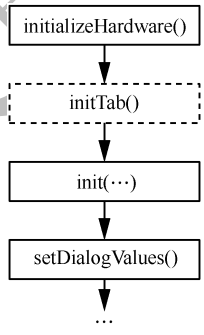


图 3 所继承的同一个父类中各方法调用顺序

load layout 子面板的加载位置可通过脚本调用修改的继承父类实现。

（3）版图加载界面的实现

通过对所修改的继承类中加载的 layout 按钮添加事件响应，通过此按钮的事件响应，可弹出版图加载界面对话框，通过创建类对象方法函数即可调用 LayoutDialog.java 类。

（4）版图加载界面的实现

通过对所修改的继承父类中加载的 layout 按钮添加事件响应，通过此按钮的事件响应，可弹出版图加载界面对话框，通过 new LayoutDialog()方法函数即可调用 LayoutDialog.java 类。

3.3 交互方案辅助模块设计

（1）辅助模块模型

在 Inspector 故障注入攻击模块中，通过点选 Microscope 选择页中 load layout 子面板中的 layout 按钮，实现辅助模块版图界面的加载，如图 4 所示。

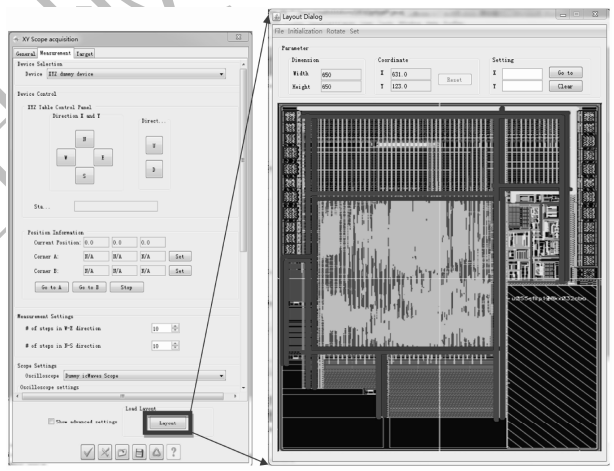


图 4 辅助模块界面模型

（2）版图旋转操作

通过辅助模块模型菜单栏中的 Rotate 菜单项实现所加载版图的水平和垂直镜像、向左和向右旋转操作，实现版图与实际芯片位置的对应，具体如图 5 所示。

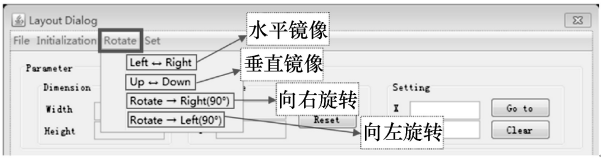


图 5 辅助模块界面旋转操作项

（3）版图与芯片尺寸交互

通过移动攻击平台设备的机械手确定芯片尺寸

后，将其与版图尺寸一一对应，即可实现版图辅助模型界面、Inspector 平台光攻击模块和机械手的三方交互和联动，并可将计算后的芯片的宽度（width）和高度（height）显示在 Dimension 子面板的 width 和 height 文本框中，如图 6 所示。

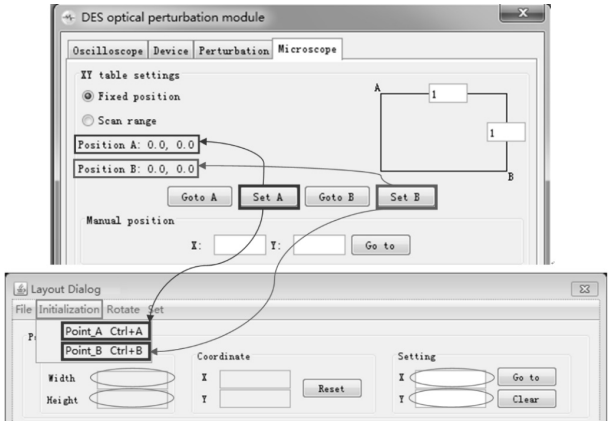


图 6　版图与芯片尺寸交互示意

（4）位置标记

在故障注入光攻击过程中，当攻击成功时会返回错误数据，可通过芯片与版图的交互对芯片出错位置和区域在版图上进行标注，如图 7 所示。

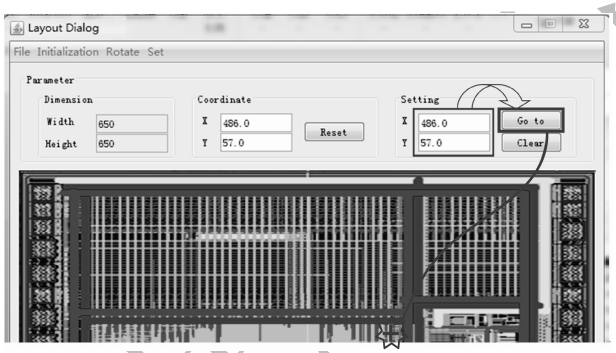


图 7　位置标记示意

4　扫描位置可视化交互验证方案设计

由上述所述交互方案设计可知，此方案设计可以在理论上实现扫描位置可视化交互集成。为了验证上述交互方法的精确性，可通过以下方案进行验证。

在 Inspector 4.10 版本中 Riscure 公司加入了红外成像仪，通过红外成像仪可以观测到芯片的全貌特征，但安全芯片一般均加入光传感器防护，此类传感器大多对红外有感应，因此不能保持红外成像仪的常开状态，且由于芯片正面有金属防护层保护，很难观测到芯片正面内部结构，因此红外成像只对芯片背部有效，而本文所提出的交互方案对芯片正反面都有效，但可以通过与红外成像仪照片的对比，验证此交互方案的定位精确度以及最终对攻击结果的影响。

5　故障注入攻击扫描位置可视化交互方法验证

5.1　方案实现

通过 Inspector 光攻击模块加载版图辅助模块，通过点选标记版图位置，使机械手跟随移动至对应的目标位置，如图 8 所示。通过红外成像仪，观测其位置是否与版图位置一致，若一致，即可验证此交互方案的精确性。



图 8　版图与芯片对应示意

以下将通过芯片的 3 个存储器区域进行验证。

区域一：RAM 区域，通过定位标记版图的 RAM 区域，验证机械手移动位置对应芯片位置的精确性。

区域二：Flash 区域，通过定位标记版图的 Flash 区域，验证机械手移动位置对应芯片位置的精确性。

5.2　定位精度比较

芯片的 RAM 和 Flash 区域验证精确性结果如图 9 和图 10 所示。

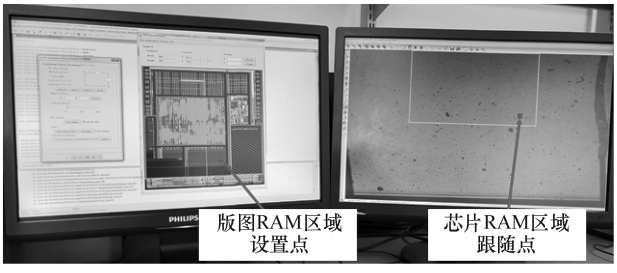


图 9　RAM 区域精确性验证

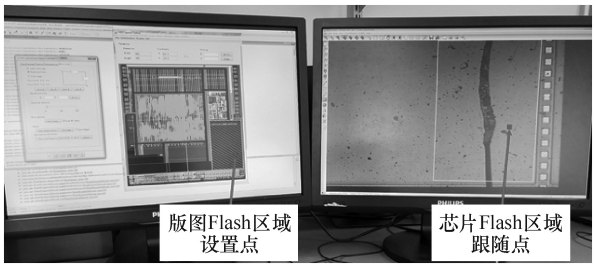


图 10　Flash 区域精确性验证

由图 9 和图 10 可知，版图标记位置和芯片对应位置有很好的一一对应性，因此，此种故障注入攻击 XYZ 平台扫描位置可视化交互集成方法具有很高的精确度。

5.3　对攻击结果影响比较

下面对芯片的 RAM 区域和 Flash 区域进行攻击验证，以此对本文所提出的可视化交互方案与传统攻击方式的攻击效率进行比较，对于同一颗芯片的 RAM 区域和 Flash 区域分别进行 10 万次故障注入攻击，并对出错点进行复现，具体表现如下所示。

（1）RAM 区域

进行传统方式故障注入攻击（如图 11 所示），则在第 80 324 个攻击点处出现错误数据，攻击成功；对出错点进行定点攻击复现，可以观测到进行 100 次攻击，出错 23 次，因此复现概率约为 23%。

进行可视化交互方案故障注入攻击（如图 12 所示），则在第 24 621 个攻击点处出现错误数据，攻击成功；对出错点进行定点攻击复现，可观测到进行 100 次攻击，出错 84 次，因此复现概率约为 84%。

（2） Flash 区域

进行传统方式故障注入攻击（如图 13 所示），则在第 67 425 个攻击点处出现错误数据，攻击成功；对出错点进行定点攻击复现，可以观测到进行 100 次攻击，出错 42 次，因此复现概率约为 42%。

进行可视化交互方案故障注入攻击（如图 14 所示），则在第 11 238 个攻击点处出现错误数据，攻击成功；对出错点进行定点攻击复现，可观测到进行 100 次攻击，出错 91 次，因此复现概率约为 91%。

由上可知，对攻击结果的影响比较结果见表 1。

表 1　可视化交互集成方案与传统故障注入攻击方案比较

攻击区域	传统方式故障注入攻击		可视化交互集成方案	
	攻击出错点	复现概率	攻击出错点	复现概率
RAM 区域	80 324	23%	24 621	84%
Flash 区域	67 425	42%	11 238	91%

可见，本文所提出的可视化交互集成方案相比传统方式的故障注入攻击拥有更高的攻击效率和复现概率。

id	Glitch ...	VCC vol...	Clock h...	Clock l...	Wait cy...	Glitch ...	Glitch ...	Glitch ...	XYZ Dev...	XYZ Dev...	Timed out	Data
80320	69.000000	5.000000	5.000000	0.000000	308	33	170	50	392.574359	0.000000	false	3B 11 96 14 00 E6 10 00 40 E6 55 AA 55 AA
80321	52.000000	5.000000	5.000000	0.000000	269	47	132	50	392.574359	0.000000	false	3B 11 96 14 00 E6 10 00 40 E6 55 AA 55 AA
80322	56.000000	5.000000	5.000000	0.000000	345	34	42	28	441.646154	0.000000	false	3B 11 96 14 00 E6 10 00 40 E6 55 AA 55 AA
80323	64.000000	5.000000	5.000000	0.000000	261	46	126	36	441.646154	0.000000	false	3B 11 96 14 00 E6 10 00 40 E6 55 AA 55 AA
80324	78.000000	5.000000	5.000000	0.000000	257	47	134	38	490.717949	0.000000	false	3B 11 96 14 00 E6 10 00 40 E6 55 AA 55 AA
80325	45.000000	5.000000	5.000000	0.000000	350	24	16	26	490.717949	0.000000	false	3B 11 96 14 00 E6 10 00 40 E6 55 AA 55 AA
80326	41.000000	5.000000	5.000000	0.000000	256	26	208	40	539.789744	0.000000	false	3B 11 96 14 00 E6 10 00 40 E6 55 AA 55 AA

图 11　针对 RAM 区域的传统方式故障注入攻击

id	Glitch ...	VCC vol...	Clock h...	Clock l...	Wait cy...	Glitch ...	Glitch ...	Glitch ...	XYZ Dev...	XYZ Dev...	Timed out	Data
24617	60.000000	5.000000	5.000000	0.000000	259	35	64	44	392.574359	0.000000	false	3B 11 96 14 00 E6 10 00 40 E6 55 AA 55 AA 55 AA
24618	67.000000	5.000000	5.000000	0.000000	267	27	62	44	392.574359	0.000000	false	3B 11 96 14 00 E6 10 00 40 E6 55 AA 55 AA 55 AA
24619	75.000000	5.000000	5.000000	0.000000	350	25	264	44	441.646154	0.000000	false	3B 11 96 14 00 E6 10 00 40 E6 55 AA 55 AA 55 AA
24620	58.000000	5.000000	5.000000	0.000000	332	45	138	38	441.646154	0.000000	false	3B 11 96 14 00 E6 10 00 40 E6 55 AA 55 AA 55 AA
24621	63.000000	5.000000	5.000000	0.000000	272	28	118	46	490.717949	0.000000	false	3B 11 96 14 00 E6 10 00 40 E6 55 AA 55 AA 55 AA
24622	40.000000	5.000000	5.000000	0.000000	331	20	90	24	490.717949	0.000000	false	3B 11 96 14 00 E6 10 00 40 E6 55 AA 55 AA 55 AA

图 12　针对 RAM 区域的可视化交互方案故障注入攻击

id	Glitch ...	VCC vol...	Clock h...	Clock l...	Wait cy...	Glitch ...	Glitch ...	Glitch ...	XYZ Dev...	XYZ Dev...	Timed out	Data
67421	67.000000	5.000000	5.000000	0.000000	285	30	166	22	40.786364	-264.714286	false	3B 11 96 14 00 E7 10 00 01 E7 40 61 40 00 C0 00 00 40 C0 55 AA 55 A
67422	65.000000	5.000000	5.000000	0.000000	268	43	92	28	81.572727	-264.714286	false	3B 11 96 14 00 E7 10 00 01 E7 40 61 40 00 C0 00 00 40 C0 55 AA 55 A
67423	70.000000	5.000000	5.000000	0.000000	277	46	106	38	81.572727	-264.714286	false	3B 11 96 14 00 E7 10 00 01 E7 40 61 40 00 C0 00 00 40 C0 55 AA 55 A
67424	65.000000	5.000000	5.000000	0.000000	293	28	154	26	122.359091	-264.714286	false	3B 11 96 14 00 E7 10 00 01 E7 40 61 40 00 C0 00 00 40 C0 55 AA 55 A
67425	76.000000	5.000000	5.000000	0.000000	264	24	162	50	122.359091	-264.714286	false	3B 11 96 14 00 E7 10 00 01 E7 40 61 40 00 C0 00 00 40 C0 00 00 00 0
67426	69.000000	5.000000	5.000000	0.000000	247	39	122	34	163.145455	-264.714286	false	3B 11 96 14 00 E7 10 00 01 E7 40 61 40 00 C0 00 00 40 C0 55 AA 55 A

图 13　针对 Flash 区域的传统方式故障注入攻击

id	Glitch ...	VCC vol...	Clock h...	Clock l...	Wait cy...	Glitch ...	Glitch ...	Glitch ...	XYZ Dev...	XYZ Dev...	Timed out	Data
11234	67.000000	5.000000	5.000000	0.000000	285	30	166	22	40.786364	-476.485714	false	3B 11 96 14 00 E7 10 00 01 E7 40 61 40 00 C0 00 00 40 C0 55 AA 55 A
11235	65.000000	5.000000	5.000000	0.000000	268	43	92	28	81.572727	-476.485714	false	3B 11 96 14 00 E7 10 00 01 E7 40 61 40 00 C0 00 00 40 C0 55 AA 55 A
11236	70.000000	5.000000	5.000000	0.000000	277	46	106	38	81.572727	-476.485714	false	3B 11 96 14 00 E7 10 00 01 E7 40 61 40 00 C0 00 00 40 C0 55 AA 55 A
11237	65.000000	5.000000	5.000000	0.000000	293	28	154	26	122.359091	-476.485714	false	3B 11 96 14 00 E7 10 00 01 E7 40 61 40 00 C0 00 00 40 C0 55 AA 55 A
11238	76.000000	5.000000	5.000000	0.000000	264	24	162	50	122.359091	-476.485714	false	3B 11 96 14 00 E7 10 00 01 E7 40 61 40 00 C0 00 00 40 C0 00 00 00 0
11239	69.000000	5.000000	5.000000	0.000000	247	39	122	34	163.145455	-476.485714	false	3B 11 96 14 00 E7 10 00 01 E7 40 61 40 00 C0 00 00 40 C0 55 AA 55 A

图 14　针对 Flash 区域的可视化交互方案故障注入攻击

6 结束语

本文针对 Riscure 公司产品 Inspector 平台使用过程中遇到的问题，提出了一种故障注入攻击 XYZ 平台扫描位置可视化交互集成方法，并对此方法进行了实现、对比和验证工作。通过对比验证可知，此扫描位置可视化交互方案能够很好地解决 Inspector 平台中遇到的人为参与因素和红外线对芯片表面产生影响的问题。在此交互方案的实现中，通过加载芯片对应版图并进行响应操作，利用可视化交互，提升了攻击位置定位的精确性，能够提升后期进行故障注入光攻击测试的效率和成功率。此种故障注入 XYZ 平台扫描位置可视化交互集成方法，可以实现对所选择的固定点和固定区域（包括规则和不规则形状区域）连续攻击，当所选择的两个区域不相邻时此方案暂时不能成功实施攻击，因此同时对两个或多个不相邻区域进行定位连续攻击是以后方案改进和研究之处。

参考文献：

[1] 许志杰, 雷菁, 李永彬. 智能卡安全技术研究[J]. 现代电子技术, 2005(15).

[2] 黄显明. 智能卡攻击技术分析及安全防范策略综述[J]. 金卡工程, 2008, 12(4).

[3] 李慧云, 李大为, 罗鹏, 等. 密码安全芯片与侧信道技术[M]. 北京: 科学出版社, 2014.

[4] 郭世泽, 王韬, 赵新杰. 密码旁路分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2014.

[5] 游建雄. 分组密码的差分故障分析[D]. 长沙: 国防科技大学, 2010.

[6] BARENGHI A, BREVEGLIERI L, KOREN I, et al. Fault injection attacks on cryptographic devices: theory, practice, and countermeasures[J]. Proceedings of the IEEE, 2012, 100(11): 3056-3076.

[7] BONEH D, DEMILLO R A, LIPTON R J. On the importance of checking cryptographic protocols for faults[J]. Journal of Cryptology, 2001(14): 101-119.

人民邮电出版社出版

国标和核电中综合布线系统简单对比及安全保护

王印尧，伍泽军，刘杰
（中国广核电力股份有限公司，广东 深圳 518120）

摘　要：综合布线是一种模块化的、具有高度灵活性的信息传输通道。就综合布线中国标部分规定和核电站综合布线系统进行简单的对比，分析了综合布线的安全保护。

关键词：综合布线；使用对比；安全分析

1　引言

1.1　综合布线系统

综合布线是一种模块化的、具有高度灵活性的信息传输通道。这种布线方案可以使话音设备、数据设备、交换设备及各种控制设备与信息管理系统连接起来，同时也使这些设备与外部通信网络相连。综合布线系统是智能化办公室建设数字化信息系统的基础设施，是将所有语音、数据等系统进行统一的规划设计的结构化布线系统，为办公提供信息化、智能化的物质介质，支持将来语音、数据、图文、多媒体等综合应用。

综合布线系统作为一种标准的通用系统，使用统一的、简单的、结构化的方式对所用线路进行编排布防，将各种系统进行连接，包括但不限于网络系统、电话系统、监控系统、电源系统、照明系统等。

1.2　综合布线系统的发展

在 1985 年之前的布线系统没有标准化。其主要用于本地电话，这个布线主要是交由本地的电话公司来实施布放，而使用主机系统的公司则要依靠供货商来安装搭建布线系统。

随着计算机技术的日益发展壮大，越来越多的公司机构安装了计算机，形成了自己的独有布线系统。但是客户却开始对于各家的系统怨声载道，原因是他们每更改一次自己的计算机平台，就要更改自己的布线系统，增加了人力财力的消耗。

计算机工业通信协会（China Computer Industry Association，CCIA）与电子工业协会（Electronic Industries Association，EIA）于 1985 年联合发布了建筑物布线标准，此标准被开发为独立于技术以及厂商。自此之后，综合布线系统有了标准化。

2　国标中的综合布线系统

2.1　国标中的综合布线系统

国标中的综合布线系统主要是《GB50311-2016 综合布线系统工程设计规范》。

2.1.1　国标中综合布线系统的基本构成

综合布线系统为开放式的网络拓扑结构，应当满足支持语音、数据、图像、多媒体当等业务的信息传递应用。

综合布线系统的基本构成有：建筑群子系统、干线子系统和配线子系统，综合布线系统基本构成如图 1 所示。

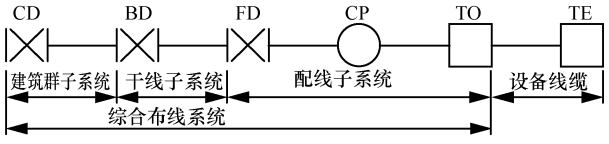


图 1　综合布线系统基本构成

其中，CD（campus distributor）为建筑群配线系统，BD（building distributor）为建筑物配线设备，FD（floor distributor）为楼层配线设备，CP（consolidation point）为集合点，TO（telecommunications outlet）为信息点，TE（terminal equipment）为终端设备。

2.1.2　综合布线系统的规定

综合布线系统工程的涉及需要满足以下几点规定。

- 每个独立的需要设置终端设备（TE）的区域宜划分一个工作区。工作区应包括信息插座模块（TO，信息点）、终端设备处的连接缆线及适配器。
- 配线子系统应该由工作区内的信息插座模块、信

息插座模块至电信间配线设备（FD）的水平缆线、电信间的配线设备及设备缆线和跳线等组成。

- 干线子系统应该由设备间至电信间的竹竿缆线、安装在设备间的建筑物配线设备（BD）及设备缆线和跳线组成。
- 建筑群子系统应该由连接多个建筑物之间的主干缆线、建筑群配线设备（CD）及设备缆线和跳线组成。
- 设备间应为在每栋建筑物的适当地点进行配线管理、网络管理和信息交换的场地。综合布线系统设备间宜安装建筑物配线谁被、建筑群配线设备、以太网交换机、电话交换机、计算机网络设备。入口设施也可安装在设备间。
- 进线间应为建筑物外部信息通信网络管线的入口部位，并可作为入口设施的安装场地。
- 管理应对工作区、电信间、设备间、进线间、布线路径环境中的配线设备、缆线、信息插座模块等设施按照一定的模式进行标识、记录和管理。

以上 7 点不仅是综合布线系统工程的涉及需要满足的规定，同时也是综合布线系统的 7 个子系统：工作区子系统、配线（水平）子系统、干线（垂直）子系统、建筑群子系统、设备间子系统、进线间子系统、管理子系统。

子系统是综合布线系统设计的基底。在子系统的基础上，根据现场的实际情况，对所需要的综合布线系统进行量身定做的设计。

2.2 综合布线系统的分级与组成

综合布线电缆布线系统具有多个级别和分类，具体见表 1，其中 5、6、6_A、7、7_A 类布线系统应能支持向下兼容的应用。

表 1 电缆布线系统的分级与类别

系统分级	系统产品分类	支持最高带宽	支持应用器件	
			电缆	连接硬件
A	—	100 kbit/s	—	—
B	—	1 Mbit/s	—	—
C	3 类（大对数）	16 Mbit/s	3 类	3 类
D	5 类（屏蔽和非屏蔽）	100 Mbit/s	5 类	5 类
E	6 类（屏蔽和非屏蔽）	250 Mbit/s	6 类	6 类
E_A	6_A 类（屏蔽和非屏蔽）	500 Mbit/s	6_A 类	6_A 类
F	7 类（屏蔽）	600 Mbit/s	7 类	7 类
F_A	7_A 类（屏蔽）	1 000 Mbit/s	7_A 类	7_A 类

2.3 综合布线系统的应用

综合布线系统工程的产品类别以及链路、信道等级的确定应该综合考虑现场实际情况，如建筑物的性质、功能、应用的网络、对接业务对传输带宽、缆线长度的要求、业务终端的类型、业务的需求和发展、设备线缆的性能、市场价格、实际安装环境等等因素。举几个例子：在挑选线缆时，同一布线信道、链路的缆线、跳线和连接器件应该保证是与系统同级别的，且阻抗一致；配线设备之间互练的应该是跳线，跳线应该要选用产业化制造的产品，这个产品必须符合综合布线系统的等级要求，其中，在电话业务上选用的最好是双芯对绞线缆；工作区中，信息点作为电端口时，应该采用 8 位模块通用插座，光端口应该采用 SC 或者 LC 光纤连接器件和适配器等等。

2.4 工业环境中的综合布线系统

综合布线系统设计中，包括一项重要指标，就是实际安装环境。实际安装环境对于线缆的安防会有重大影响。

工业环境主要是高温、潮湿、电磁干扰、撞击、振动、腐蚀气体、灰尘等恶劣条件，要在这些条件下完成线缆安防，并且支持语音、数据、图像、视频、控制等业务，需要该系统既符合工业中的要求，又满足综合布线的规定。

2.4.1 综合布线系统在工业环境中布线的规定

- 工业级连接器件应使用在与工业环境中的生产区、办公区或者控制室与生产区之间的交易场所。
- 在工业设备较为集中的区域应该设置现场配线设备。
- 工业环境中的配线设备应根据环境条件确定防护等级。

2.4.2 工业环境综合布线系统的架构

工业环境布线系统架构如图 2 所示。

工业环境布线系统的各级配线设备之间设置备份或者互通的路由应该符合以下规定：

- 建筑群 CD 与每一个建筑物 BD 之间应设置双路由，其中 1 条作为备份用路由；
- 不同的建筑物 BD 与 BD、本建筑 BD 与另一栋建筑 FD 之间可以设置互通的路由；
- 本建筑物不用楼层 FD 与 FD、本楼层 FD 与另一楼层 ID 之间可以设置互通路由；
- 楼层内 ID 与 ID、ID 与非本区域的 TO 之间可以设置互通路由。

人民邮电出版社出版

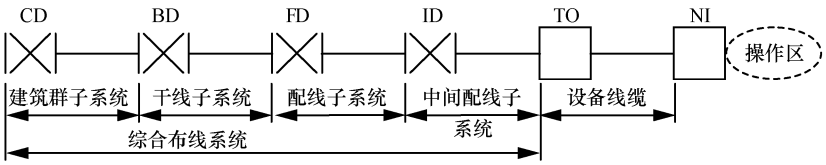


图 2　工业环境布线系统架构

2.5　综合布线系统的其他应用

综合布线系统除了在工业环境中使用，还支持开放型办公室系统、屏蔽布线、弱电系统等。

综合布线系统应该具有支持 TCP/IP 的视频安防监控系统、出入口控制系统、停车库（场）管理系统、能耗计量及数据远传系统、公共广播系统、发布系统等等弱电系统的信息传输。

综合布线系统支持弱电系统时，需要解决以下问题：

- 传输带宽与传输速率；
- 缆线的应用传输距离；
- 设备的接口类型；
- 屏蔽与非屏蔽电缆及光缆布线系统的选择条件；
- 以太网供电（POE）方式及供电线对实际承载的电流与功耗；
- 各弱电子系统设备安装的位置、场地面积和工艺要求。

3　核电站中的综合布线系统

3.1　核电综合布线系统的设计要求

宁德核电综合布线系统适用于宁德核电站一期项目 1、2、3、4 号机组的建设，也将会适用于正在准备的二期项目。

综合布线系统为核电厂建立信息传输通道，灵活组建信息网络，高速传输数据信息和语音信息。

核电站内的综合布线系统支持厂内自动电话交换机用户和计算机网络用户。综合布线系统主配线架位于通信机房，其中包括音频总配线架、光线总配线架和网络配线架。

核电站内的综合布线系统具有以下基本特质。

（1）一般要求

- 采用先进、成熟、实用的技术；统一使用标准化的器件，为了灵活更换、扩展以及调整使用，具有可管理性和可维护性；
- 综合布线系统技术具有超前性，能够在进行投入后，最大程度保证用户的投资使用；
- 综合布线系统具有可依性，设备施工、维护和管理运行严格按照国际、国内以及行业内的相关标准规范，其中包括技术规范、产品标准、互联规范以及文档规范。

（2）结构设计要求

- 设备的结构应该是便于安装、维护和管理，这样才能易于检测和排除故障；
- 配线设备应该牢固安装、工艺精良、标识清晰、布线美观实用。

（3）可靠性要求

综合布线系统具有可靠性，设备具备有效、可靠的接地条件；综合布线系统设计使用年限大于或等于 20 年，且能够无故障运行大于或等于 10 000 h。

（4）电缆要求

- 综合布线系统室内连接电缆均采用阻燃电缆；
- 综合布线系统室外连接电缆俊财通低烟无卤阻燃电缆。

3.2　核电中综合布线的设计基准

核电中综合布线系统的设计基于宁德核电厂内一期机组。

综合布线系统不属于核安全相关系统；电缆敷设应该遵循电缆隔离的准则；设备表面应该设有保护措施，用以防止外力冲击破坏；保护等级为 IP32；元器件、电缆、导线等标识必须采用符合标准要求；电缆路由须明确且易于敷设；电缆必须与动力电缆分开；电缆收尾须以标签明确区分。

由于综合布线系统在和店内不属于核安全相关系统，运行的条件基本与外界的运行条件相同。

3.3　综合布线系统的设备

综合布线系统的设备具有多种，线缆部分如双绞线、光纤等；固定用的部分还有包括配线架、机柜等。

核电内的许多设备与外界相区别。

以双绞线为例：

双绞线有一类线（CAT1）、二类线（CAT2）、三类线（CAT3）、四类线（CAT4）、五类线（CAT5）、

人民邮电出版社

超五类线（CAT5e）、六类线（CAT6）、超六类线（CAT6A）、七类线（CAT7）。类型的数字越大，说明所代表的版本越新，所使用的技术越先进、带宽越宽，价格也越贵。其中常见的是五类线、超五类线和六类线。而核电中使用的主要是六类线和少量五类线、超五类线。

双绞线的接头线序为应用最广的是 ANSI/EIA/TIA-568A（T568A）和 ANSI/EIA/TIA-568B（T568B）标准。这两个标准为全球通用。核电站中的线序主要使用 T568B 标准，为橙白、橙、白绿、蓝、蓝白、绿、棕白、棕。

4 综合布线的安全保护

综合布线系统虽然在绝大多数情况下不属于危险的系统，但是其相关的安全保护确实现代化智能应用的关键。

4.1 电气保护

综合布线系统连接的是电子设备，包括计算机、服务器等，而这些是对电压和电流具有高度敏感的设备。

无论何时何地，电子设备都有可能产生电压过载和电流过载的风险，这是不可避免的。只有减少这些风险的产生，消除风险产生的隐患。

4.1.1 过压保护

过电压分为两类：外过电压、内过电压。本文主要讲述外过电压相关方面。

外过电压又称为雷电过电压、大气过电压。外过电压可分为直击雷过电压和感应雷过电压。

直击雷过电压是由于雷闪直接击中电工设备导电部分时所出现的过电压，此时形成了过高的过电压，直击雷过电压幅值甚至可达上百万伏，会直接或间接地破坏电工设施绝缘，引起短路接地故障。感应雷过电压是由雷闪点累产生强大的磁场变化在导电线路中产生感应的过电压以及过电流，这种急剧的磁场变化甚至会影响到下游设备，使其产生过电压。为了避免和减少风险，必须架设避雷装置和接地装置，同时在布线系统中并联使用过电压保护装置。

除了雷击，静电放电等也可能会造成过电压。

4.1.2 过流保护

除了过压保护，综合布线系统还需要过流保护。

在一个电力系统，过电流或过剩电流会导致设备线路的发热从而引起火灾或损坏重要的设备。过电流的可能原因包括短路、负载过大、设计不正确或接地故障。

一般将过电流分为过载电流和短路电流：回路绝缘损坏前的过电流称作过载电流；绝缘损坏后的过电流称作短路电流。

为了保护线路，通常采用过电流保护器，将其串联在线路中，当出现过电流的情况时，会自动切断线路。随着技术的发展，具有自动恢复功能的过电流保护期也开始大量普及。

4.2 屏蔽保护

综合布线系统中的某些部分线缆会需要穿过电磁场比较强的地方，这些地方的电磁干扰和电磁辐射较强，普通的布线难以胜任信息快速、准确的传输要求；同时为了保证机密机构的信息安全，在一些重要位置，普通的布线并不适用。这些情况往往使用的是屏蔽布线。

4.2.1 屏蔽布线

屏蔽布线系统除了价格较低，而且可以对绝大多数的干扰进行有效的组织。这种技术是在线缆的原有基础上，结合屏蔽、消除的技术，有效减少了内部串扰和外部电噪声。这种技术已经在常见类型的线缆和当今的综合布线中广泛应用。

4.2.2 屏蔽布线系统

屏蔽布线系统通常包括屏蔽双绞线、屏蔽模块、屏蔽配线架。

综合布线系统中的配线架、线缆连接处、信息插座与插头接触处等环节是整个系统中最容易受到干扰的环节，因此为了全方位保护，除了双绞线，还要求模块和配线架具有屏蔽功能。

4.3 接地保护

综合布线系统以及所连接的硬件设备需要有良好可靠的接地，这样才能提高稳定性、可靠性，从而保障系统和设备的运行和安全，同时也是保护相关操作人员的人生安全。

4.3.1 接地要求

接地保护根据不同的情况，分为直流工作接地、交流工作接地、安全保护接地、防雷保护接地、防静电接地、屏蔽接地或隔离接地。

4.3.2 接地线缆

接地保护的所使用接地线缆分为 6 个部分：接地线、接地母线、接地干线、主接地母线、接地引入线、接地体，其中每一个部分都要严格按照要求进行施工。

水电部电力出版社出版

4.3.3 接地线缆要求

接地线缆需要截面积大于或等于 4 mm^2，并且干线的屏蔽需要有连续性。

在线缆引入建筑物中需要将屏蔽层焊接到建筑物入口区的接地装置上，只有这样才可以尽量保证引入时的安全。

采用非屏蔽线缆时，应该将线缆放入金属线槽或者金属管内。

接地的电阻值应该根据应用的设备接地要求来决定，一般情况下电阻值不大于 1 Ω。

4.4 防火保护

综合布线系统除了电气保护、屏蔽保护、接地保护之外，还需要防火保护，通常选用具有防火阻燃防毒的线缆进行此种防护。

5 结束语

无论何种综合布线系统，都是以国标的综合布线系统为基准，再根据实际情况制定相应的标准，如核电站。

每一种综合布线系统，虽然并不完全相同，但基准不变，保持了一定的标准。根据这些标准，即使不是布线系统的设计者，了解了该系统相关的情况，就能对系统进行维护扩展，是一种省时省力的好方法。

综合布线系统不仅需要可以使用，安全问题也是重中之重，只有做好安全保护，才能稳定、可靠、安全地使用综合布线系统。

人民邮电出版社出版

国网公司高价值科技资源共享探讨

赵晶，王进生
（北京中电普华信息技术有限公司，北京 102209）

摘　要：高价值仪器设备是国网公司重要的科研基础条件资源。在概述国网公司目前各类高价值仪器设备共享现状的基础上，分析了现阶段高价值仪器设备共享工作中面临的一些困难和问题，并围绕这些问题，探讨了进一步促进国网公司高价值仪器设备共享的解决思路和建议。

关键词：高价值仪器设备；共享；系统平台

1　引言

现代科研是多学科的交叉，越来越离不开高价值仪器设备的辅助；越是高精尖的仪器设备往往越需要大额的资本投入，并且数量稀缺。在高价值仪器设备不断更新、数量和种类不断增加的同时，国网公司在对其的管理和使用中存在着一些问题。如何有效地提高国网公司的高价值仪器设备利用率，合理优化资源配置，让其在科研、教学和社会服务中充分发挥作用，是国网公司相关科技型企业亟待解决的重要课题。

2　国网公司高价值仪器设备共享情况

高价值仪器设备开放共享是实现社会资源社会化、公共资源公平化使用的有效手段，我国自 1997 年开始进行国家层面上的高价值科学仪器协作共享工作，2018 年 6 月 22 日，科技部、财政部联合印发《关于加强国家重点实验室建设发展的若干意见》（国科发基〔2018〕64 号），要求到 2020 年，基本形成定位准确、目标清晰、布局合理、引领发展的国家重点实验室体系。虽然政策不断出台，并强调共享的重要意义，但经过多年的探索和实践，国网公司的高价值科研仪器设备共享效果并不显著，特别是各科技型企业共享进程普遍缓慢，科研仪器对科技创新的服务和支撑作用并没有得到充分的发挥。

3　实现国网公司高价值仪器设备资源共享的意义

3.1　优化资源配置，提高财政投入效率

高价值仪器设备的共享，可以减少国内许多单位对于普通仪器设备大量重复购置和盲目购置的现象，将分散的资金集中投入能够高度提升国家科技实力的高、精、尖的仪器设备中。一个国家的高端仪器设备，是衡量其发达程度、经济实力和科技竞争的重要标志之一，更是提高国家的公共财政投入效率。

3.2　降低资产损失，提升资源使用效率

传统的管理方式只满足购置者的使用需求，降低了仪器设备的利用效率，不仅造成了资源的浪费，更因为设备的更新、折旧使仪器设备的资产损失增大。仪器设备的资源共享，能够整合设备资源，提高设备的利用率，同时可以盘活国网公司大量闲置的仪器设备资源，满足科研单位的需求，减少资产空置、更新换代的无谓损失。

3.3　调度资源分配，弥补设备资源短缺

对于许多单位来说，高价值仪器设备的需求经费比较庞大，因此，对各科技型企业总体来说还是比较紧缺的。国网公司高价值仪器设备资源共享能够缓解高价值贵重精密仪器总体数量短缺，互通有无，更合理、有效地利用高价值仪器设备资源，调动资源的配置。

3.4　提升专业水准，促进科研团队形成

国家高价值仪器设备的共享，可以汇集相关专业的技术人员大力投身于实验技术研究与管理中，使实验技术人员不断地更新知识储备，改善知识结构，不断提高实验技术水平，从而培养出高水平的研究队伍，承接重大的科研项目。

3.5　减少科研成本，加速科技成果产生

国家高价值仪器设备的共享，可有效解决设备短缺对技术研发的制约问题，降低了国网公司创新研发

大电机电出版社出版

的购买和运行成本；各学科、专业、科研团队可以获得更多建设经费和科研经费的支持，促使科研事业迅猛发展、科学技术向高端领域跨入，提升科研成果不断产生的速率。

4 国网公司仪器设备共享所面临的困难

4.1 缺乏有效的共享管理体制机制

目前，国网公司高价值仪器设备主要以内部共享为主，对共享的机制没有具体的规定，其权利义务规定不明确，缺乏可操作性和可执行性，高价值科学仪器设备共享的管理体制未建立起来。同时，仪器设备拥有企业往往因为共享成本较高、缺少激励机制、共享制度不完善等而缺乏共享的积极性。

4.2 产权所有者共享意识有待增强

目前，大多数高价值仪器设备的所有者仅仅是为了服务于本单位的科研项目使用，有着“自己的才算有”的观念，造成国网公司内部分设备重复购置、资源闲置和共享氛围不足的问题。专业性高的科研项目需要要求高的仪器设备，这些高、精、尖的专业仪器设备不仅能提供更优质的科研基础，也对于设备共享设置了天然的分水岭——共享应用的范围小，同时也更为稀缺。

4.3 高价值仪器设备运行维护成本高

高价值仪器设备耗资巨大，运行维护都需要精细操作，部分部件有使用时间、次数、范围等要求；维护设备、更换耗材更是需要专业维护人员进行检修和调试。高价值仪器设备的对外共享，不仅要考虑设备仪器的运行维护成本，还要考虑仪器设备的人员团队成本。

4.4 分布广泛移动性能差

国网公司所经营的是我国的基础能源——电，更是现代生活生产的血液。电网的建设、存储和输送的研发离不开高价值仪器设备，它们根据所属国网公司不同的企业分布在全国不同的区域。当需要跨地区使用国网公司的高价值仪器设备时，许多高价值仪器设备移动的条件不容易达到，部分仪器设备对于移动的耗费成本巨大，容易对仪器设备造成不必要的损耗，更有可能损坏其精密性。

4.5 现有仪器设备共享系统平台难当大任

在网络技术不断发展的大背景下，国网公司的少量科技型企业建立了本企业的高价值仪器设备的展示或预约平台，但是更多企业并没有对外使用仪器设备的窗口。因为没有相对规范统一的标准，“各自为政”的预约系统展示的设备基本信息不完整；部分平台功能单一，仅只有预约功能；使高价值仪器设备无法形成交叉性的共享网络平台。

5 高价值仪器设备共享问题的解决思路和对策

5.1 设立高价值仪器设备共享基地

因为地域因素和科研基础的影响，可以在国网公司从地区、省、市、区、企业等层级进行“互通有无”，设立区域性的高价值仪器设备共享基地。设备基地可以有效满足同一区域内的相关用户对仪器设备使用的要求，起到桥梁纽带的作用，促进区域内的科研创新体系，避免同一区域国网公司高价值仪器设备的重复购置，节约了购置经费，有利于本地区仪器设备的合理配置，促进国网公司区域创新能力的提高，增加区域内科技型企业的学术交流活动，有利于催生国网公司新的科技成果。

5.2 加强高价值仪器设备共享建设宣传

高价值仪器设备的共享需要国网公司、科技型企业、相关部门等“全体总动员”进行积极宣传和贯彻。每年科技部、财政部、国家发改委、教育部等都会有相关设备共享的指导意见，2018 年 1 月 31 日国务院印发《关于全面加强基础科学研究的若干意见》（国发〔2018〕4 号）：要求各省、自治区、直辖市人民政府，国务院各部委、各直属机构建立健全科研设施与仪器开放共享管理机制和后补助机制。国网公司可以积极响应国家号召，将科技型企业高价值仪器设备的共享程度作为企业的考核指标之一，也可以在设备购置和业绩考核方面提供补贴或奖励，形成多种激励手段，鼓励更多的科技型企业分享和使用设备资源。

5.3 优化高价值仪器设备共享制度

2016 年，由国务院引发《“十三五”国家科技创新规划》（国发〔2016〕43 号）：强化大科学装置等国家重大科技基础设施绩效评估，促进开放共享；整合和完善科技资源共享服务平台，更好地满足科技创新需求。高价值仪器设备共享需要国网公司引导与市场化相结合。前期国网公司“层层落实责任”制定相关的设备共享制度，相关部门制定服务规范；从不同层次、不同侧面组织设备共享企业密切合作、明确职责分工提供“公开、公正、公平、透明”原则的共享前期基础。例如：国网公司科技部门制定和审核仪器设备等级划分、信息部门规范各企业的设备信息平台规

人民邮电出版社出版

范、财务部门审核各设备使用费用等。通过国网公司政策制度的引导、规范设备共享制度，科技型企业的参与，使高价值仪器设备的共享服务商业化、市场化、规模化，使国网公司的高价值仪器设备逐步形成省、区域以致国家级的高价值仪器设备共享中心，积极参与到国家的共享建设中。

5.4 实施高价值仪器设备共享的有偿使用

对于高价值仪器设备共享进行有偿收费共享服务，实行灵活多样的有偿服务机制，如按样品量、时间、次数、实验室人员和设备配备等计费；可以补偿仪器设备的使用损耗、提高仪器设备所有者的共享积极性。通过相关部门专业评估仪器设备的成本损耗、运行检修、保养维护、人员投入等，经过国网公司的确定并报物价局备案，提供合理的财务往来票据，使共享收入得到有效监管。有偿使用共享资源，可以使国网公司科技型企业在仪器设备空闲时间以最低的投入获得额外收益，降低设备的成本负担；使用者能以较少的费用获得高成本的仪器设备的使用权；实现双方的共赢。

5.5 完善高价值仪器设备共享系统平台建设

借助于现在大数据、云平台、物联网的应用，建立国网公司分级制的共享系统平台，将高价值仪器设备形成省、区域、国家级的共享系统网络。通过制定规范统一的多功能管理的共享系统平台，使用仪器设备挂网制度和审核，对其进行线上登记和更新仪器设备信息、收费标准、使用状态等；使用预约功能，对仪器设备的功能信息进行查询，预约和使用评价；提供仪器设备操作手册说明、注意事项和视频的培训教程；实行相关专家咨询体系，线上为用户解答实验方式、实验进程和实验数据研究等方面的问题；配备远程操作系统，可为客户提供人员和设备的远程服务和监控；应用报表统计，让管理员对仪器设备登记使用记录、使用率等通过统计、报表服务等方式实现实时维护和监控管理；联结仪器设备上游和下游供应商，为设备仪器提供耗材和检修服务等；形成科研成果共享系统，为形成的专利等成果进行发布和销售展示。利用互联网广泛性，打破高价值仪器设备的共享中时间、地点、空间的束缚，利用共享系统平台的预约、共享、交流、互动以及检测等功能发挥高价值仪器设备的最大应用价值。

6 结束语

国网公司高价值仪器设备共享的建设是一项系统性的工程，需要整个公司、相关部门以及仪器设备管理人员参与进来，在工作的过程中不断地进行研究、探索以及创新，重视共享各个方面的完善，实现最大限度地开发和利用高价值仪器设备、提高科研资源使用效益，使之形成市场化效应，使国网公司科技型企业在教学科研、人才培养和国家发展等方面中发挥更大的作用。

参考文献：

[1] 王燕, 罗继红. 大型仪器设备共享和管理探讨[J]. 科技经济与管理科学, 2018, 26(9): 189-190.

[2] 赵伟, 吴红菊, 樊锦文, 等. 浅析高校大型仪器开放共享管理机制[J]. 教育现代化, 2017(46): 91-92.

[3] 王艳, 孟勤, 张沐新. 大型仪器设备区域共享平台建设探究[J].实验室研究与探索, 2016, 35(6): 266-268, 292.

[4] 张琳霞, 周宜君, 胡吉成, 等. 建立大型仪器设备开放共享平台的措施与成效[J]. 实验技术与管理, 2016, 33(10): 135-138.

[5] 吴炎, 刘扬, 蓝闽波, 等. 全时开放大型仪器三级共享平台的构建思路与实践[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(1): 9-12.

[6] 胡晓萍, 钟叶龙, 徐军明, 等. 大型科学仪器设备共享管理方法的研究与实践[J]. 实验技术与管理, 2012, 7(29): 215-217, 220.

人民邮电出版社出版

核电企业大数据技术架构设计与应用实践

杨强

（江苏核电有限公司，江苏 连云港 222000）

摘　要：为了满足大数据环境下的应用需求，提出了一套开放性的大数据架构。大数据技术平台的架构覆盖数据交换层、数据计算层、数据存储层、数据服务层、数据应用层，在各个层次上根据具体需求采用不同的技术策略。平台的设计从底层架构上解决了核电企业大数据技术平台的搭建问题。在平台实际投用的基础上，通过设备数据智能搜索、多维设备信息统计、实时数据监控预警等大数据应用的实践，验证了大数据技术平台上的搜索引擎、自然语言处理、离线计算、实时计算、时序数据库等先进信息技术的可用性与可行性。通过将大数据技术平台与具体业务场景进行结合，取得了较好的应用效果。

关键词：大数据；数字核电；智能搜索；架构设计

1　引言

随着大数据、人工智能等新一代信息技术的深入应用，大数据已经成为当今企业开展业务创新、降本增效的重要抓手。参考文献[1-2]中谈到，在大数据环境下，核电厂通过传感器、智能设备、视频监控设备、音频通信设备、移动终端等各种信息获取渠道收集到的数据都可以纳入企业大数据的管理范围，这些数据符合大数据的数量多（volume）、多样性（variety）、速度（velocity）、真实性（veracity）4 个特性，在组织形式上存在结构化、半结构化、非结构化等形式，且数据实体之间存在复杂的关联关系。电力业务的大数据已经成为核电企业开展各项业务创新的重要抓手，得到了企业上下各级管理人员的关注。

大数据行业应用持续升温，特别是企业级大数据市场正在进入快速发展时期。越来越多的企业期望打通“数据孤岛”，基于海量的数据资源，挖掘并沉淀有价值的数据，进而驱动更智能的商业。开展大数据的应用建设不可避免的是搭建合适的大数据技术平台，只有这样才能在顶层设计上为企业整体的大数据发展战略建立良好的基础。因此，有必要对大数据技术平台进行详细分析，搭建满足企业实际需要的大数据技术架构。

2　大数据平台的总体架构

大数据平台的架构以面向开放为架构设计准则，遵循前瞻性、可扩展、开放性、高性能、稳定性、安全性、易维护、实用性、高可用、统一管理等原则。大数据平台的技术选型应当符合业界技术发展潮流，在较长的一段时期内不过时。大数据平台应当支持便捷的横向扩展和纵向扩展，支持业务系统和应用系统发展的需要。平台的设计不应该绑定特定的厂商或者特定的软件产品，任何产品的退出和替换不会给依赖于它的其他技术组件带来较大的调整工作。平台需要能够支持尽量多的数据服务需求，还能承受用户峰值时间段压力。大数据平台在出现故障或者升级时，应能轻松快速地完成。平台的建设应当从单一技术组件解决单一技术问题开始，根据技术需求不断扩展，前期以最小投入解决问题，当开源组件解决不了问题时再考虑收费组件。

江苏核电有限公司根据上述原则，对大数据技术平台的架构进行了详细的设计，总体架构如图 1 所示。

核电大数据架构主要分为数据产生层、数据交换层、数据计算层、数据存储层、数据服务层、数据应用层[3-4]，流程调度层作为大数据任务的调度管理，数据管控层作为大数据环境的整体基础支撑。

数据产生层主要是指企业内外部产生的各类结构化、非结构化、半结构化的数据。数据源包括 EAM（enterprise asset management，企业资产管理）系统、ERP（enterprise resource planning，企业资源计划）系统、SRM（supplier relationship management，供应商关系管理）系统等以经验反馈、安全质量等代表的自

大连理工出版社出版

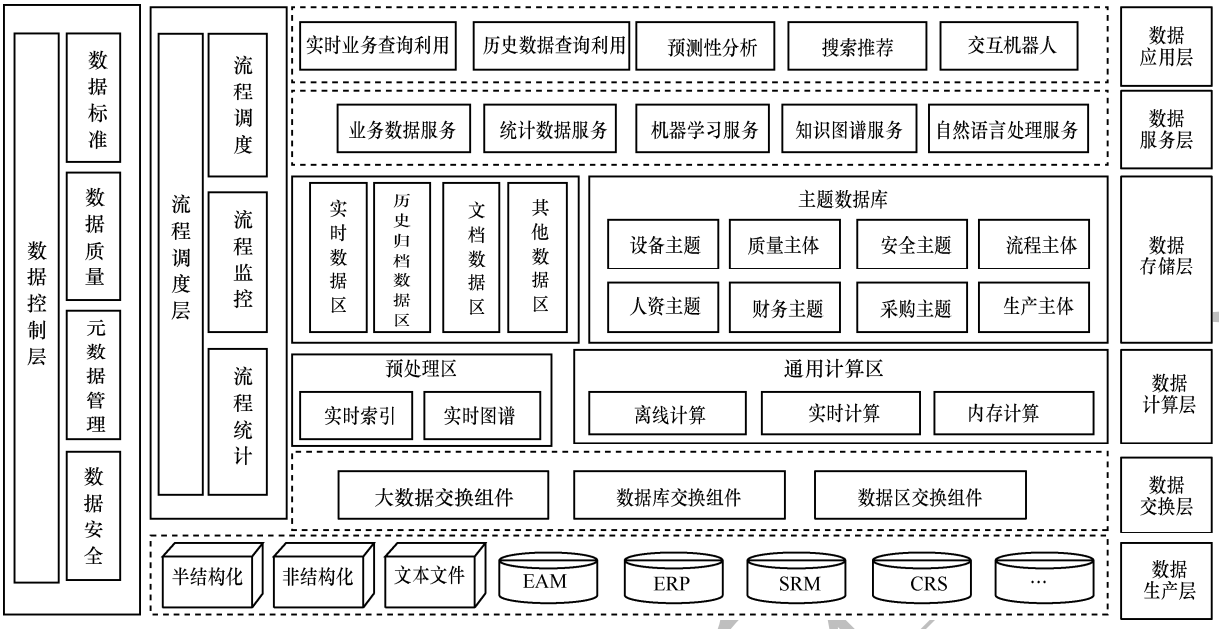


图 1　平台总体架构设计示意

开发核心业务系统，还包括以各类工控系统为源的实时数据系统。在数据产生层，还需要考虑未来可能引入的其他类型的信息系统或者外部的网络资源。

在数据交换层，主要通过大数据交换组件、数据库交换组件和数据区交换组件完成与数据产生层的对接，将各类数据通过批量、增量采集方式汇集到中间处理区，以建立索引和关系图谱，并执行计算任务。

在数据计算层，主要对数据交换层的数据进行离线计算处理、实时计算处理、内存计算处理。通过各类计算模型进行具体的业务逻辑，并通过调用数据存储层的接口将处理完的结果存储到数据存储层。

在数据存储层，主要实现对各类数据的逻辑存储和物理存储。数据存储采用分区管理，分为实时数据区、历史归档数据区、文档数据区。另外，对计算完成的数据按照主题的不同进行汇总，例如设备主题、质量主题、安全主题等。

在数据服务层，主要提供业务数据服务、统计数据服务、机器学习、知识图谱、自然语言处理等服务。该层根据实际业务需要，以服务化的形式提供给上层应用。

在数据应用层，主要是将大数据平台的数据与分析结果以用户可直接面对的形式提供给最终用户。数据应用可以分为管理分析类应用、报表加速类应用、预测分析类应用、检索推荐类应用、高时效分析应用 5 类，企业可以根据实际需要开展应用的开发。

此外，为了支撑上述技术平台的运作，需要在流程调度层提供流程调度、监控告警等功能以及在数据管控层提供数据标准管理、数据质量管理、数据安全管理、数据架构管理、元数据管理等功能[5]。

3　大数据技术平台的关键技术

3.1　数据交换层的技术实现

数据交换组件不限定特定的软件产品，根据不同的数据来源采用不同的工具，综合采用各类主流 ETL 工具。数据交换组件的主要作用如图 2 所示。

对于 SAP 系列软件的源数据，可以通过 Kettle 软件将 SAP HANA、SAP ECC 等系统环境与目标环境进行连接，进行数据的 ETL（extract-transform-load，抽取、转换、加载）过程；对于关系型数据库等应用系统，可以通过 Sqoop/Kettle 等工具将 Oracle、MSSQL 等数据库的数据转入相应的目标环境；对于工控系统镜像的实时测点数据，可以通过自开发服务组件调用 ODBC 或者 JDBC 接口将数据存储到时序数据库中；对于日志型文件可以通过 Flume 工具定时抓取到 HDFS（Hadoop distributed file system，Hadoop 分布式文件系统）；对于分散在文件系统或者 FTP 等常见存储组件的文件，可以通过脚本使用 HDFS-over-FTP 等软件工具进行数据的上传下载。

3.2　数据计算层的技术实现

数据计算层主要包括离线批处理计算、实时计算、

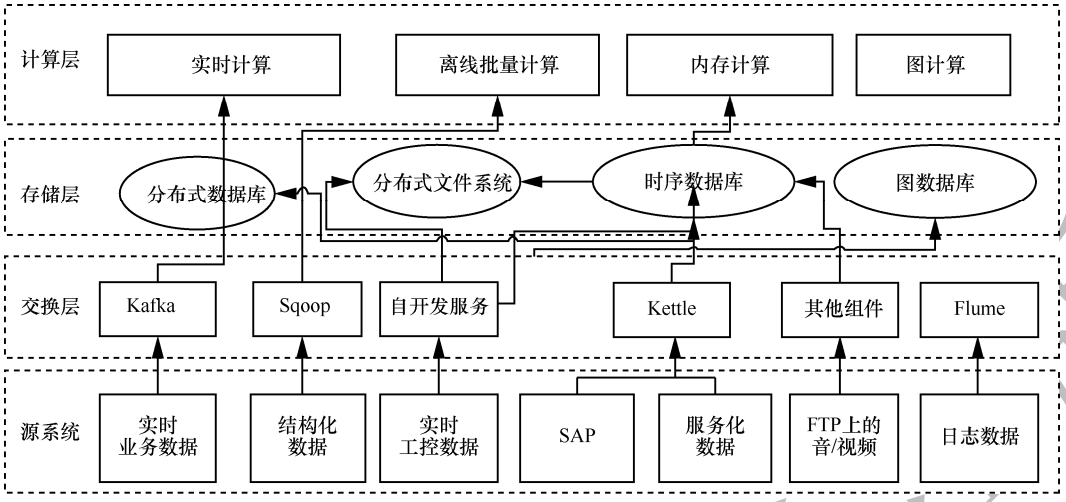


图 2　数据交换层的示意图

内存计算。3 种计算模型能够满足企业各类数据的处理需要。

离线批处理计算采用 Hadoop 体系的 MapReduce[6]。MapReduce 是面向大数据并行处理的计算模型、框架和平台，MapReduce 的处理过程分为两个步骤：map 和 reduce。每个阶段的输入输出都是 key-value 的形式，key 和 value 的类型可以自行指定。map 阶段对切分好的数据进行并行处理，处理结果传输给 reduce，由 reduce 函数完成最后的汇总。

实时数据计算采用 Spark Streaming[7]。Spark 是一个类似于 MapReduce 的分布式计算框架，其核心是弹性分布式数据集，提供比 MapReduce 更丰富的模型，可以快速在内存中对数据集进行多次迭代，以支持复杂的数据挖掘算法和图形计算算法。Spark Streaming 是一种构建在 Spark 上的实时计算框架，它扩展了 Spark 处理大规模流式数据的能力。Spark 实现了一个叫作微批（micro-batch）的概念，以亚秒级增量对流进行缓冲，随后这些缓冲会作为小规模的固定数据集进行批处理。Spark Streaming 接收实时流的数据，并根据一定的时间间隔拆分成一批批的数据，然后通过 Spark Engine 处理这些批数据，最终得到处理后的一批批结果数据。

对于内存计算，采用 SAP HANA。借助 SAP 内存数据库，充分发挥实时数据的潜力[8]。SAP HANA 内存数据库采用改进的数据压缩、多栏式数据存储和内存计算技术，支持新一代企业数据管理。作为一款灵活、多用途且与数据源无关的内存工具，SAP HANA 整合了通过硬件进行优化的 SAP 软件组件。借助 SAP HANA，企业能够根据大量实时的详细信息分析业务运营状况。

计算平台使用 YARN 来做集群资源管理。YARN 可充当 Hadoop 堆栈的集群协调组件，负责协调并管理底层资源和调度作业的运行。YARN 的运行流程为：客户端向 NameNode 提交程序，资源管理器分配作业到空闲 DataNode，启动 ApplicationMaster，ApplicationMaster 和资源管理器保持通信，ApplicationMaster 监控所有执行该作业的 DataNode，DataNode 创建 Container，并在其中执行任务。

3.3　数据存储层的技术实现

数据存储层主要依托 HBase 作为分布式存储系统，HDFS 作为分布式文件系统，图数据的存储采用 Neo4j。

不同于一般的关系数据库，HBase 是一个适合于非结构化数据存储的数据库。所谓非结构化数据存储就是说 HBase 是基于列而不是基于行的模式。HBase 是一种 Hadoop 数据库[9]，作为一种稀疏的、分布式的、持久化的多维有序映射，它基于行键、列键和时间戳建立索引，是一个可以随机访问的存储和检索数据的平台。HBase 不限制存储数据的种类，允许动态的、灵活的数据模型，不用 SQL 语言，也不强调数据之间的关系。HBase 在一个服务器集群上运行，可以相应地横向扩展。

时序数据库采用 OpenTSDB，这是一个基于 HBase 的分布式的、可伸缩的时间序列数据库。主要用途是监控系统，如收集大规模集群（包括网络设备、操作系统、应用程序）的监控数据并进行存储、查询。OpenTSDB 使用 HBase 作为存储[10]，由于有良好的设

计，因此对 metric 的数据存储支持到秒级别，OpenTSDB 支持数据永久存储，即保存的数据不会主动删除，并且原始数据会一直保存。

图形数据库采用主流的 Neo4j，它是目前最流行的图形数据库，支持完整的事务。在 Neo4j 中，图是由顶点（vertex）、边（edge）和属性（property）组成的[11-12]，顶点和边都可以设置属性，顶点也称作节点，边也称作关系，每个节点和关系都可以有一个或多个属性。Neo4j 的查询语言 Cypher 已经成为事实上的标准。图形数据库适合查询关系数据，由于图形遍历的局部性，不管图形中由多少节点和关系，根据遍历规则，Neo4j 只访问与遍历相关的节点，不受总数据集大小的影响，从而保持期待的性能。

3.4 数据服务层的技术实现

数据服务层是上层应用的基础。江苏核电使用 Spring Cloud 作为服务的封装技术方案。Spring Cloud 是一个基于 Spring Boot 实现的云应用开发工具[13]，它为基于 JVM 的云应用开发中涉及的配置管理、服务发现、断路器、智能路由、微代理、控制总线、全局锁、决策竞选、分布式会话和集群状态管理等操作提供了一种简单的开发方式。Spring Cloud 包含了多个子项目，如 Spring Cloud Config、Spring Cloud Netflix、Spring Cloud AWS、Spring Cloud Security、Spring Cloud Commons、Spring Cloud Zookeeper、Spring Cloud CLI 等项目。

Spring Cloud 的总体架构如图 3 所示。

4 大数据技术平台的应用实例

4.1 基于搜索引擎的设备数据智能搜索应用

设备数据智能搜索应用提供了统一的、智能化的、推荐式的设备数据搜索入口，在用户搜索设备信息时自动给出搜索建议，根据设备故障关键词自动给出历史相似故障的原因分析及下一步行动，方便现场人员第一时间获取设备应对建议。应用的数据来自于 SAP EAM 系统、ECM 系统、CRS 经验反馈系统，在技术上验证了自然语言处理技术、Hadoop 离线计算、Spark 实时计算、Elasticsearch 等大数据技术的适用性和可行性。

在搜索框输入某些关键词时，系统自动对可能的输入进行提示性推荐，用户可以选择符合要求的结果，效果如图 4 所示。

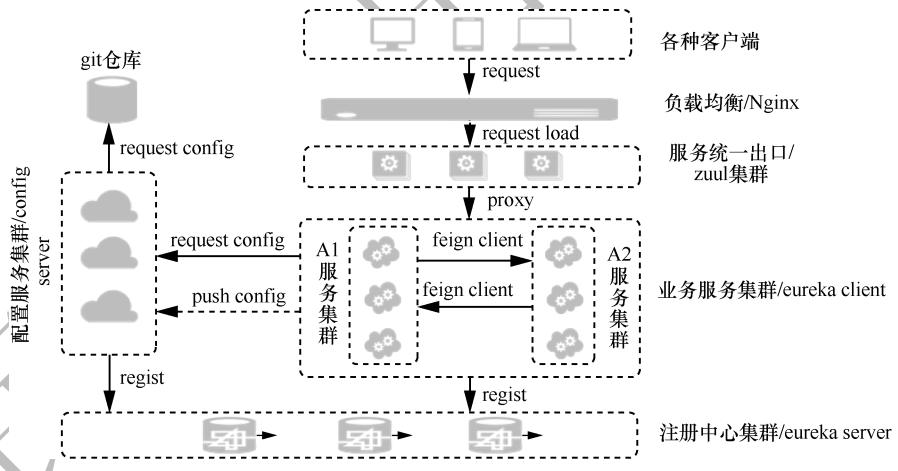


图 3 Spring Cloud 的总体架构



图 4 实时搜索推荐的效果

用户任意输入关键词，可以按照文档相似度来给出最符合的结果，效果如图 5 所示。

4.2 多维度维修工作负责人统计分析应用

多维度维修工作负责人统计分析应用提供实时汇总的维修工作负责人情况统计，支持快速多维度的组合搜索，有利于管理人员获取现场工作的执行情况，获得各个执行班组的工作量等信息。应用的数据源来自于 SAP EAM 系统。在技术上验证了 HBase 分布式数据库、Solr 搜索框架、基于 Spring Boot 的微服务架构等大数据相关技术的适用性和可行性。用户可以自由输入查询条件，进行组合查询，点击数字可以查看具体的条目信息。效果如图 6 所示。

4.3 基于时序数据库的测点监控与预警应用

测点监控与预警应用的数据来自于 OSISoft PI 系统，相比于传统基于 PI ProcessBook 的测点汇总与开发，通过大数据技术平台可以实现用户自定义的测点数据汇总展示，能够根据用户设定的阈值进行预警。通过时序数据库的应用，一方面将工控数据统一存储到分布式存储系统中，另一方面通过大数据体系丰富的可视化技术能够大大降低对测点开展趋势分析和深入应用的成本。江苏核电有限公司通过本应用也在技术上验证了时序数据库技术的适用性和可行性。以 1JEB10 系统的 4 个测点为例，监控的效果如图 7 所示。

5 结束语

江苏核电有限公司基于开放思维对企业大数据技术平台进行架构设计，形成了覆盖数据交换层、数据计算层、数据存储层、数据服务层、数据应用层的开放性的大数据架构。在不同的层次上根据具体需求的不同采用不同的技术产品，解决了核电企业大数据技术平台的搭建问题。在大数据平台上实现了以 Elasticsearch 技术、自然语言处理技术、Hadoop 离线计算、Spark 实时计算、时序数据库等技术为代表的先进信息技术与具体业务场景的融合，取得了较好的应用效果。



图 5 文档相似搜索的效果



图 6 多维数据查询效果

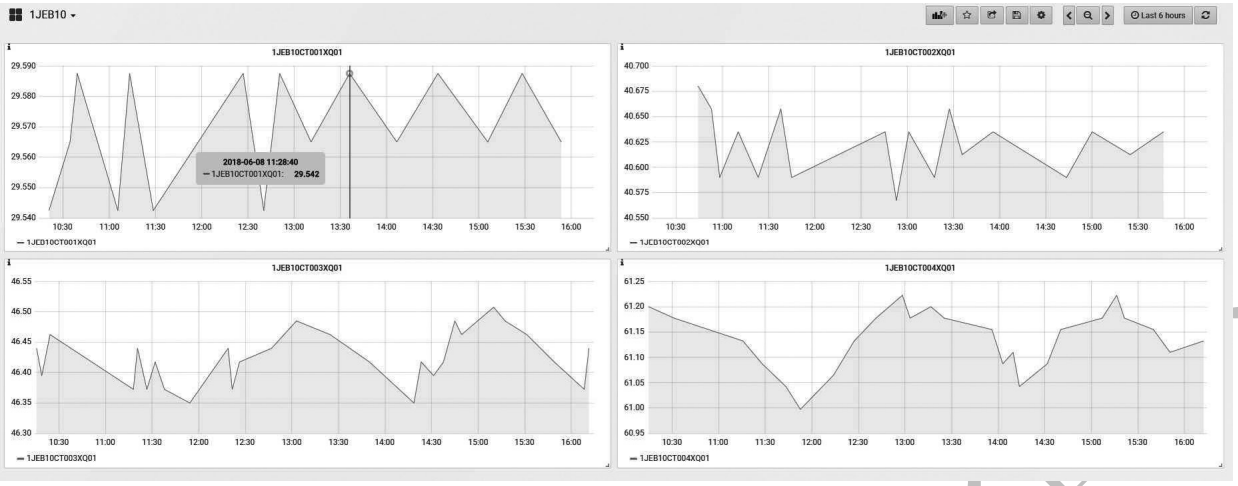


图 7　实时数据测点的效果

后续，江苏核电有限公司将继续研究与优化大数据技术平台的架构，深入开展大数据相关应用，将大数据技术广泛应用到生产、经营等领域，促进江苏核电“数字核电”的目标的达成。

参考文献：

[1] 彭宇, 庞景月, 刘大同, 等. 大数据: 内涵、技术体系与展望[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(4): 469-482.

[2] 陈超, 张顺仕, 尚守卫, 等. 大数据背景下电力行业数据应用研究[J]. 现代电子技术, 2013, 36(24): 8-11, 14.

[3] 潘可佳, 王鑫, 杨帆, 等. 面向电力大数据的多源异构数据融合技术研究[J]. 机械与电子, 2017, 35(9): 7-11.

[4] 王玮, 刘荫, 于展鹏, 等. 电力大数据环境下大数据中心架构体系设计[J]. 电力信息与通信技术, 2016, 14(1): 1-6.

[5] 朱朝阳, 王继业, 邓春宇. 电力大数据平台研究与设计[J]. 电力信息与通信技术, 2015, 13(6): 1-7.

[6] 王德文, 刘晓建. 基于 MapReduce 的电力设备并行故障诊断方法[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(10): 116-120.

[7] 韩德志, 陈旭光, 雷雨馨, 等. 基于 Spark Streaming 的实时数据分析系统及其应用[J]. 计算机应用, 2017, 37(5): 1263-1269.

[8] 庄辰弘. 基于 SAP HANA 的内存数据库应用研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2013.

[9] 孟祥萍, 周来, 王晖, 等. HBase 在智能电网异构数据同步中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(24): 122-128.

[10] 杨帆. 基于 opentsdb 的分布式实时监控方案[J]. 福建电脑, 2016, 32(11): 143, 169.

[11] 马义松, 武志刚. 基于 Neo4j 的电力大数据建模及分析[J]. 电工电能新技术, 2016, 35(2): 24-30.

[12] 王余蓝. 图形数据库 NEO4J 与关系据库的比较研究[J]. 现代电子技术, 2012, 35(20): 77-79.

[13] 王方旭. 基于 Spring Cloud 实现业务系统微服务化的设计与实现[J]. 电子技术与软件工程, 2018(8): 60-61.

人民邮电出版社

核电通信企业标准与国际通信标准的差异化分析

喻施施，伍泽军，张家典
（中国广核电力股份有限公司，广东 深圳 518120）

摘　要：电站程序是电站人员行动的指导文件，而国标是约束某个行业领域的指导文件，主要通过分析具体电站管理程序与相对应的国标之间的关系，阐述了这两者之间的联系与区别。

关键词：程序；国标；人机料法环

1　引言

1.1　程序的概念

核电站作为设计核相关行业，行为规范方面的管控是十分严格的。中国广核集团有限公司（以下简称中广核集团）就有“一切按程序办事”的理念，体现了其在企业管理方面的要求和方法。

此处说到的“程序”，并不是计算机领域上的程序，而是一种广义上的概念，包括了人员管理、设备管理、环境管理等一系列的内容。简单来说，程序就是电站管理人员制定出来实现对电站有效控制的一种手段，做到在电站内的各个行动都有章可循。这样的模式在工业生产领域并不少见，基本上它等同于通常意义上“人机料法环”中的“法”，如图 1 所示。在企业管理上使用程序办事，能够显著地改善工作的效率，减少工作中出现的错误以及失误率。

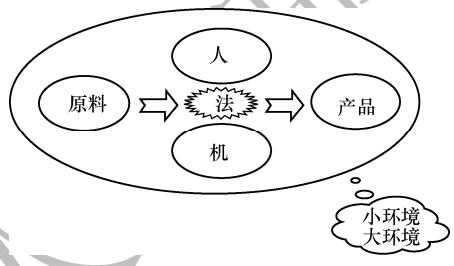


图 1　“人机料法环”示意图

对于核电站这类涉及核安全的企业来说，程序更是举足轻重。工业生产中，效率和安全一直是人们追求的两个方向，程序就实际意义来说，对“在什么时间、什么地点、做什么样的事情”这些问题具有指导意义。以宁德核电站为例，大到站区核应急，小到办公人员行为规范，都有具体的程序规定。站区内生效的正式程序文件多达数千份。这样一来，程序的制定规范尤为重要。

企业管理者是如何制定一份程序的呢？这是一个严谨的过程，绝不仅仅是某一决策者一拍脑门就轻易制定的。程序作为站区内管理的一个参照标准，其本身的正确性和规范性都必须要有一定的保障，在程序制定流程中必须要有正确的标准作为参考。“他山之石，可以攻玉”，最具有实际意义的必然是其他正在执行的“程序”。这里的程序，较之前面提到的概念，是一个更大的集合，它包含了将要提到的另一个概念——“国标”。

1.2　“国标”的概念

“国标”，顾名思义，国家标准。这里提到的国标，实际上不仅仅是中国国家标准，还涵盖了行业标准、地方标准、企业标准，甚至是一些其他国家的标准规定。事实上，可以将国标理解成为国家针对管理某一行业或某一领域而制定的一些国家级“程序”。

没有规矩，不成方圆。无论在什么样的企业管理之中，一个良好的管理方法往往会成为企业生存和发展的关键。任何企业想要在激烈的竞争中脱颖而出，必然要拥有科学而优秀的管理方法。对于一个国家而言也是如此，这就是国标诞生的意义。值得一提的是，由于国标是国家级的程序，它具有一定的法律性。

2　程序与国标的联系

2.1　上下游关系

前面提到任何一份程序在制定的时候都必须有参考的标准，为了规范管理，一般的程序都有将涉及的参考文件记录在程序本身，方便将来对程序的升级和修订。这样的一部分内容，通常能在程序的目录中找到参考文件这一部分，主要就是记录制定程序的标准由来，如图 2 所示。

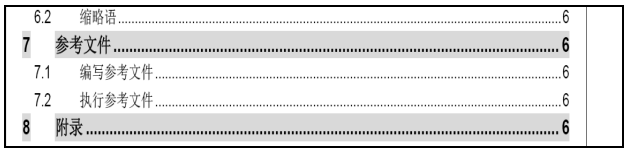


图 2　程序目录中的参考文献

举个实际的例子来解释上下游关系。核电站在生产中对于电源管理必然有着一份程序，称之为程序 A，国家方面对于电站电源的管理也存在一份国标，称之为 B，同样的电力行业也会有一份行业标准 C。假设，A 是参照 C 制定的，而 C 是参照 B 制定的，那么 C 就是 A 的上游文件，B 就是 C 的上游文件。

实际生活中这样的例子不少，国家标准是一种基准文件，它只提供理论依据和执行模式，行业、企业等根据国家标准的相关内容，结合自身的实际特点制定行业标准和企业标准，一步一步地将国标的内容详细化、具体化。反过来，由此也可以断定，任何一份程序，通过上游文件的追溯，都可以在国家标准和法律法规中找到根据。

这就是国标和程序的第一种联系，国标作为程序的上游文件，为程序提供理论依据。

2.2　数据支持

国家制定的东西都是具有一定的权威性的，国家标准更是如此。实际工业生产的过程中经常会遇到一些数据相关问题。这些问题具有科学性、广泛性和唯一解。施工人员并不是科研人员，每次都在现场即时演算这一模式，无论在效率上还是准确率上都无法达到要求。这时候国标的数据支持作用就能够体现出来。国家组织最权威的团队，利用最精密的仪器对相关问题的数据进行研究，得到正确的结果，写进国家标准中。企业只需参照这份标准，将数据记录在程序上，施工人员参照程序就能解决问题。这就是国标对程序数据支持作用。

同样的例子，众所周知，光缆是现在综合布线领域一种常用的传输介质，已经在实际生活中被广泛使用。光缆的优点很多，但有一个缺点——当光缆的弯曲程度过大时，会影响光缆的传输效率。这一特性就带来的一个问题，实际工程施工中敷设光缆，不可能将光缆长度精确到毫无差距，余缆的产生是一定会存在的。那么要怎么处理余缆才能最大限度地确保光缆的传输效率就会成为一个数据问题。工程人员在施工中的计算既不准确，也影响效率。于是就有了 GB50311 中对于光缆敷设最小静态弯曲半径的规定，见表 1。GB50311 中做出了这一的规定后，相关行业的从业人员在进行综合布线设计、编写相关运维规定时参考该规定，这样一来，GB50311 成为其上游文件。同样的，GB50311 的编写制定的规定也不是无源之水，那些行业细则数据也不是无中生有，它也是根据 GB50373 这一国标中的相关规定做出了细化。

表 1　GB50311 中对于光缆敷设最小静态弯曲半径的规定

光缆类型		静态弯曲半径
室内外光缆		15D/15H
微型自承式通信用室外光缆		10D/10H 且不小于 30 mm
管道入户光缆	G.652D 光纤	10D/10H 且不小于 30 mm
蝶形引入光缆	G.657A 光纤	5D/5H 不小于 15 mm
室内布线光缆	G.657B 光纤	5D/5H 不小于 10 mm

当然，这份国标的制定不仅仅是为了解决余缆的问题，其中包含了综合布线领域的各个方面的细节规定，包括光纤类型、光纤长度、光纤接口等都会有详细的描述，这里仅是以此为例。

以上是国标的数据支持作用，下面来说明国标的方法介绍作用。

2.3　方法介绍

根据核电厂的管理方式，许多的设备和仪器都需要做定检实验来确保机器的可用性，但这对运维人员提出了要求，这样的定检实验周期如何制定？实验方案如何实施？何种实验数据能够得到何种的实验结果？一般资历较浅的运维人员可能无法胜任这样的工作。国标的方法介绍作用很好地解决了这个问题。对于一些经常性、重复性的实验、检测和调试，国标中可以规定其操作的方法并给出相应的结论。这样一来，工作人员在进行操作的时候，只需要参照标准实验方法就能得到正确的结论，大大提升工作效率。这也是程序参照国标的一个重点内容。

以核电站对于蓄电池充放电实验为例。

核电站对于蓄电池充放电实验的规定如下。

（1）放电前检查工作

- 充分检查，确保试验所用仪器良好、无故障、无损坏，放电电缆无破损；
- 检查 UPS 面板（各线电压均在 400 V 左右）确认主路和旁路输入正常，且 UPS 无告警；
- 检查并确认蓄电池组处于浮充运行状态；
- 检查蓄电池组总电压在 396～408.6 V（注意：测量电压前必须核实万用表档位，以防发生仪表、设备及人员损伤）；

人民邮电出版社出版

- 检查蓄电池连接处无松动、腐蚀现象；
- 检查蓄电池壳体无渗漏和变形；
- 检查蓄电池极柱、安全阀周围无酸雾酸液逸出；
- 记录蓄电池房的温度℃（10℃～40℃）。

（2）放电仪线缆连接

- 将红色电缆连接放电仪正极输入端和蓄电池组放电回路正极对应的放电装置处，将黑色电缆连接于放电仪负极输入端和蓄电池放电回路负极对应的放电装置处，要求先接放电仪输入端然后再接放电装置；
- 电缆两端连接牢靠，放电装置接线端接触面尽量最大，确定固定牢靠，注意正负极不能短路。

（3）放电仪参数设置

- 告警电压（warning Vmin）：324 V；停止电压（stop Vmin）：324 V；告警放电容量（warning Ah）：130 Ah；停止放电容量（stop Ah）：130 Ah；告警时间（warning time）：10:00；停止时间（stop time）：10:30；放电电流（set current）：13 A。

（4）蓄电池放电

- 断开蓄电池空开（551CR 为 403JA、552CR 为 404JA），合上放电装置空开；
- 合上放电仪放电空开，按下启动（Enter）键，蓄电池开始对放电仪放电；
- 放电过程中记录蓄电池放电电压、当前温度、放电容量、放电电流、当前时间，时间为 1 次/小时。但在末期，为确定放电终止电压的可靠性，应加大测试次数（相关记录填写到《记录表 1：蓄电池放电测试记录表》）；
- 放电过程中，应注意查看放电电缆及两端接头是否有过热现象、蓄电池外观是否出现异常现象，一旦出现异常应立即停止放电（注意：单节电压范围为 10.8～14.1 V，低于 10.8 V 蓄电池发生硫化降低容量；超过 14.1 V，蓄电池发生充电析氧现象）。

（5）蓄电池充电

- 放电 10 h，端接电压下降至 345 V 左右，手动关闭放电仪，关闭放电仪电源开关，拔出电源输入插头，关闭放电装置空开，拔除蓄电池端负极对应放电电缆再拆除正极对应电缆，拆除放电仪端电缆；
- 合上蓄电池空开（551CR 为 403JA、552CR 为 404JA），UPS 自动转为均充，充电过程中记录蓄电池充电电压、当前温度、充电电流、当前时间，时间为 1 次/小时，当 UPS 面板显示“电池正在浮充”时，停止记录（相关记录填写到《记录表 2：蓄电池充电测试记录表》）。

（6）蓄电池充放电结束

- 清洁蓄电池表面；
- 恢复所有执行的安全措施，理清收拾好所有工器具。

（7）品质再鉴定

如以上各项工序均满足程序要求，且测试数据符合标准，则认为再鉴定合格（评价结果填写到《评价报告单 1：蓄电池充放电试验评价单》）。

对于定检周期，规定如下：新安装或大修后的阀控蓄电池组，应进行全核对性放电试验，以后每隔 2～3 年进行一次核对性试验，运行了 6 年以后的阀控蓄电池池，应每年作一次核对性放电试验。

（8）其他注意事项规定

作业人员必须了解蓄电池参数、对应 UPS 情况、UPS 供电设备，作业前工具器材、材料和备件需准备充分，并熟悉该试验风险并做好预防措施。以上内容来自宁德核电站相关程序规定。此程序的上游文件为《YD/T799-2010 通信用阀控式密封铅酸蓄电池》及《DL/T724-2000 电力系统用蓄电池直流电源装置运行与维护技术规程》。

以上是程序中的规定，再来看两份邮电业行业标准中对于充放电实验规程中蓄电池充放电的介绍。

- 蓄电池在使用前一般应进行补充充电，蓄电池最大充电电流不大于 $2.5I_{10}$(A)，最大补充充电电压不大于 2.35 V/单体。
- 蓄电池均衡充电单体电压为 2.30～2.35 V(25℃)。
- 蓄电池浮充电单体电压为 2.20～2.27 V(25℃)。
- 完全充电状态下的蓄电池静置 1～24 h，在环境温度为 25℃±5℃的条件下开始放电。
- 放电开始前应测蓄电池的端电压；放电时应测量电流，其电流波动不得超过规定值的 1%。
- 放电期间应测蓄电池的端电压及室温。测量时间间隔：10 h 率试验为 1 h；3 h 率试验为 0.5 h，1 h 率试验为 10 min。在放电末期要随时测量，以便准确地确定蓄电池终止电压的时间。
- 蓄电池放电时，如果温度不是 25℃，则需将实测容量控式(1)换算成 25℃基准温度时的容量

人民邮电出版社标准出版

C_e，其值应符合：

$$C_e = \frac{C_t}{1 + K(t - 25℃)} \quad (1)$$

其中，t 为放电时的环境温度，K 为温度系数，10 h 率容量试验时 K=0.006/℃，3 h 率容量试验时 K=0.008/℃，1 h 率容量试验时 K=0.01/℃。

对比两者，不难发现，程序中规定的检测方法完全是符合行业标准中的规定，通过行业标准中的规定，制定出核电厂自身的蓄电池检测方法。同时，该制定是在标准基础上结合自身现场的实际情况给出了具体的实验指标，这就涉及程序与国标之间的区别——属地化原则。

3 程序与国标间的区别

3.1 属地化修改

“国标”和“行标”是国家层面上制定的规则和标准，它们更多的意义在于规范整个行业的内容。这种性质在一定程度上造成了它们的局限性：除标准实验中计算得到的精确数字外，在规定方面一般的国标只是提出了一个限定范围。考虑到各个地方的实际情况有所不同，可能同一个行业领域内不同区域具体的实施标准或许略有不同。现有的很多国标内都是在法规要求范围内给出简单的指导意见。而企业在制定程序时，则可以根据自身实际情况，在不超过国标要求的范围内，对程序进行属地化、细节化的修改。

分析一份通信电源管理程序，其参考文件是 YD/T731-2008《通信用高频开关整流器》，将分析程序中的要求与邮电行业标准之间的差异。程序中提到对通信电源、蓄电池组进行定期巡检，规定了定检周期和定检内容，见表 2。

观察表格中的巡检内容，首先是温湿度，作为机房的环境变量，也是设备稳定运行的一个环境前提，要求为温度在 15℃~30℃，湿度在 30%~80%；交流输

表 2 TB208 通信电源季度检查表

检查人		检查日期	
温度（15℃~30℃）		湿度（30%~40%）	
设备名称	检查项目	检查结果	备注
ODTVB671AR 高频开关电源 1	1#交流输入电压表（330V±20%，304～456 V）		
	1 组蓄电池输出电压表（43.2～57.6 V）		
	1#直流电输出电压表（43.2～57.6 V）		
	1#直流电输出电量表		
	集中控制器（正常绿灯长亮）	□正常 □异常	
	整流模块（正常绿灯长亮）	□正常 □异常	
	接地情况是否良好	□正常 □异常	
ODTVB673AR 高频开关电源 2	2#交流输入电压表（330V±20%，304～456 V）		
	2 组蓄电池输出电压表（43.2～57.6 V）		
	2#直流电输出电压表（43.2～57.6 V）		
	2#直流电输出电量表		
	集中控制器（正常绿灯长亮）	□正常 □异常	
	整流模块（正常绿灯长亮）	□正常 □异常	
	接地情况是否良好	□正常 □异常	
ODTVB675AR UPS 电源	UPS 交流输入电压表（220V±20%，176～264 V）		
	UPS 交流输入电压表		
	UPS 直流输入电压表（43.2～57.6 V）		
	UPS 直流输入电流表（0±0.5 A）		
	交流母线电压表（220 V±20%，176～264 V）		
	交流母线电流表		
	UPS 监视器（正常绿灯长亮）	□正常 □异常	
	接地情况是否良好	□正常 □异常	

人民邮电出版社出版

入电压表示数在 304~456 V、直流输出电压表示数在 43.2~57.6 V，要求接地良好，监视器正常工作。

而在邮电行标 YD/T731-2008《通信用高频开关整流器》中则规定：

（1）工作温度范围是−5℃~40℃，湿度为 90%以内

（2）交流输入电压波动范围是 323~418 V、直流输入电压波动范围是 43.2~57.6 V。

（3）整流器应具有接口电路可与监控电路（系统监控单元）连接，在监控电路（系统监控单元）控制下应具有遥测、遥信、遥控的功能。

（4）接地性能要求。

将两者的数据进行比对可以发现：

（1）温湿度的要求范围现对于行标要求范围小，考虑到当地气候与机房空调的调节作用，温度高于 30℃或低于 15℃的情况较少存在，属于对根据实际情况对行标进行属地化调整。

（2）直流输出电压波动范围与行标一致，交流输入电压则相对行标给出的范围略大（行标为 380 V ± 15%，而要求为 380 V±20%），这是由于行标内给出了理由和依据，当交流输入电压超出上述 15%的范围但不超过 25%时仍能使用。YD/T 属于推荐性行标，允许企业在一定程度上进行调整。

（3）对于行标内提及的其他内容（接地、防雷、监控等），要求中也均有体现。

可以发现，程序中的要求相对于国标，基本上是符合要求的，但是有一些内容则是在其他法规要求范围之内，根据自身使用情况进行了修改，这种模式称之为属地化管理。

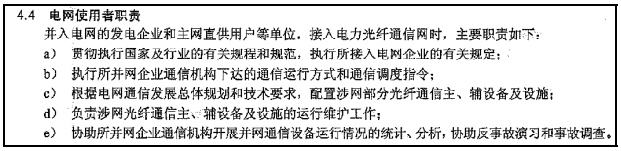
3.2 细节化修改

国标对于一个行业的把控是一种宏观上的把控，在某些领域上国标行标的制定中可能没有涉及具体的操作，只提到了行业内人员的操作原则，例如 DL/T 547-2010《电力系统光纤通信运行管理规程》中对于电网各级通信机构的职责进行了说明。其中对核电站有约束的条例如图 3 所示。

可以发现，这份行标内的规定其实是一种原则上的描述，它不涉及具体的工作，在参照这份行标的时候，必须要针对提供的要求制定详细的做法。电站在这方面的程序如下。

“4.1 基本管理原则

（1）通信系统全网传输运行电路的日常运行管理应严格执行下级服从上级，局部服从整体，分支服从主干的原则。


4.4 电网使用者职责

并入电网的发电企业和主网直供用户等单位，接入电力光纤通信网时，主要职责如下：

a） 贯彻执行国家及行业的有关规程和规范，执行所接入电网企业的有关规定；

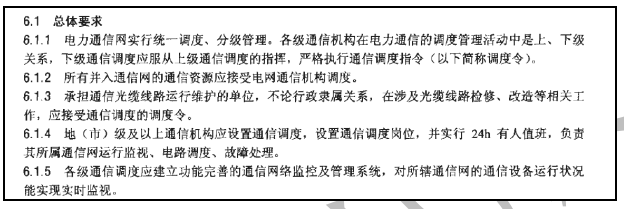
b） 执行所并网企业通信机构下达的通信运行方式和通信调度指令；

c） 根据电网通信发展总体规划和技术要求，配置涉网部分光纤通信主、辅设备及设施；

d） 负责涉网光纤通信主、辅设备及设施的运行维护工作；

e） 协助所并网企业通信机构开展并网通信设备运行情况的统计、分析，协助反事故演习和事故调查。

（a）


6.1 总体要求

6.1.1 电力通信网实行统一调度、分级管理，各级通信机构在电力通信的调度管理活动中是上、下级关系，下级通信调度应服从上级通信调度的指挥，严格执行通信调度指令（以下简称调度令）。

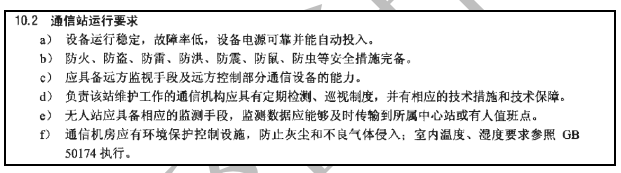
6.1.2 所有并入通信网的通信资源应接受电网通信机构调度。

6.1.3 承担通信光缆线路运行维护的单位，不论行政隶属关系，在涉及光缆线路检修、改造等相关工作，应接受通信调度的调度令。

6.1.4 地（市）级及以上通信机构应设置通信调度，设置通信调度岗位，并实行 24h 有人值班，负责其所属通信网运行监视、电路调度、故障处理。

6.1.5 各级通信调度应建立功能完善的通信网络监控及管理系统，对所辖通信网的通信设备运行状况能实现实时监视。

（b）


10.2 通信站运行要求

a） 设备运行稳定，故障率低，设备电源可靠并能自动投入。

b） 防火、防盗、防雷、防洪、防震、防鼠、防虫等安全措施完备。

c） 应具备远方监视手段及远方控制部分通信设备的能力。

d） 负责该站维护工作的通信机构应具有定期检测、巡视制度，并有相应的技术措施和技术保障。

e） 无人站应具备相应的监测手段，监测数据应能够及时传输到所属中心站或有人值班点。

f） 通信机房应有环境保护控制设施，防止灰尘和不良气体侵入；室内温度、湿度要求参照 GB 50174 执行。

（c）

图 3 DL/T 547-2010《电力系统光纤通信运行管理规程》对于核电站约束的条例

（2）通信电路的启用、停运和检修应提出申请，经批准后方能实施。凡与电力安全生产有关的通信电路、设备的变更，须事先征得 ODI 同意后方可实施。

（3）通信电源是通信系统的重要基础设施，应加强对通信电源的定期维护，严格按有关规定执行。

（4）通信电路所有设备的运行方式不得随意变更，如果需要变更，必须事先申请，待审批后方可实施。有关通信电路的停（复）役必须按电网规定执行。

（5）通信专业与继电保护、调度自动化等专业的管辖范围以通信设备配线架的出线端子为界。

（6）通信技术人员必须遵守国家的相关法规以及电力系统通信的相关规程，在进行设备的投入、退出、转接、调测、检修、故障处理、统计分析等方面工作时应规范作业。

（7）调度数据网系统运维必须遵守 14 号令《电力监控系统安全防护规定》及省调自动化的相关规定，坚持“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”的原则，保障电力监控系统安全。

4.2 安全管理

（1）人员资格

运维人员应具备电网通信相关的专业知识，通过宁德核电入厂安全培训；通过福建省电力有限公司的电力通信人员持证上岗培训与考试，获得岗位资格证

书，持证上岗。

（2）工作许可

根据涉网通信设备运维操作的具体内容，按照福建电网及宁德核电的相关要求，向福建省调度通信报备及办理相应的工作票。

（3）风险分析

涉网通信系统传输设备的任一项运维操作作业前均需进行风险分析；主要包括：①防止误碰误操作导致无法正常通信；②防止人体静电对设备的伤害，在通信设备进行物理板卡的更换时，应带上防静电手腕。③涉电工作需注意防触电风险、设备损坏风险。

（4）其他要求

涉网通信设备的运维操作都在机房内实施，需遵守涉网通信机房管理制度，规范运维操作人员的行为。

4.3 定检管理

定检周期：TB 通信机房每周进行巡检；GEW 调度数据网每周进行巡检；SDH 通信传输设备应进行季度定检；备用光纤每年进行一次测试。定检项目：（1）TB 通信机房巡检；（2）GEW 调度数据网巡检；（3）SDH 通信传输设备季度巡检；（4）涉网通信光缆备用纤芯测试。.定检记录：每次定检完后，按照表格认真记录，要求记录清晰、完整，做到有理可查。如果有必要，对异常现场进行拍照留存。

4.4 缺陷管理

（1）缺陷类别。按照福建省电网的相关要求，分为一般缺陷、重要缺陷、紧急缺陷。

（2）发现途径。巡检巡视发现；定检发现；通信监测系统告警信息或电话报告；系统自查；新建、扩建、改建工程及验收过程等。

（3）缺陷记录。发现缺陷应及时汇报，对缺陷进行定性，填写电网通信设备缺陷报告处理单。

（4）缺陷处理。发现缺陷应及时进行分析处理，确定缺陷产生的原因，并制定消缺的

（5）方案和计划。对短时间内无法解决、但不影响设备正常运行的缺陷，应加强监视，针对缺陷发展做出分析、事故预想，要有临时解决措施，避免缺陷升级。重大通信通道故障，参照涉网通信应急预案执行。”

经过对比不难发现，这份程序的规程在总的原则上与行标的规定并没有冲突，当时在很多行标中没有涉及的小细节做了补充。同样是电力行业，火电站、水电站、风电站、核电站甚至是变电站、通电局之间参照行标的方式都可能不尽相同，程序时直接管理的文件，这内容上应该相比于国标、行标要更加详细和具体。

4 结束语

管理是企业必不可少的调控手段，而管理程序就是企业在管理上最重要的一环。从这点上看，可以将国家也看成一个整体，国标、行标就是国家的“程序”。实际上，程序与国标之间是等同的，它们其实是一个性质的东西，联系和区别在于它们涵盖的范围不同、它们执行的对象不同、约束的力度不同。清楚地了解和明白程序与国标之间的关系，能够帮助更好地理解程序、操作程序。

人民邮电出版社出版

核电无线通信系统集中告警平台的建设与应用

郑湘宁，任明慧，张成阳
（中国广核电力股份有限公司，广东 深圳 518031）

摘　要：DTW 无线通信系统是核电应急通信系统的重要组成部分，是保障核电通信正常运行的基础和前提，因此对无线通信系统进行实时告警监控是十分必要的。从无线通信系统的告警监控需求方面入手，结合集中告警平台的层级架构设计和结构组成进行分析，详细介绍了核电无线通信系统集中告警平台的建设与应用。

关键词：无线通信；核电站；告警监控；DTW

1　引言

核电站 DTW 无线通信系统（以下简称 DTW 系统）采用 McWill 技术，具有高稳定、广覆盖、低辐射等特点。为保证 DTW 系统在电厂安全生产期间的可靠运行，需建立针对 DTW 系统网元设备的集中告警信息监测平台（以下简称集中告警平台），将监测到的故障信息进行告警、解析和统计，并实现告警集中显示及告警统一上传。集中告警平台提供的告警业务处理流程，可敦促系统维护人员和设备维护人员及时排除设备故障，以满足电厂健康发展和规范管理的要求。

2　DTW 系统集中告警平台介绍

DTW 系统主要由交换核心网、无线通信基站和光纤直放站等网元设备组成。网元设备告警是指 DTW 系统中的设备在运行过程中，产生设备异常状态消息并通过网管服务器上报给告警平台，然后 DTW 系统维护和设备维护人员对设备故障告警消息进行分析诊断、故障排除和修复。

集中告警平台对 DTW 所属全部网元设备工作状态进行在线监测（如图 1 所示），将从设备网管服务器上采集到的告警信息，通过告警解析、告警入库、告警转发等操作，实现 DTW 系统设备告警信息的集中显示和查询统计等功能。集中告警平台能够提高和快速定位设备故障位置和故障原因，敦促系统维护和设备维护人员及时排除设备故障，缩短故障处理时间。

3　DTW 系统集中告警平台层级架构

DTW 系统集中告警平台架构自底向上可分为三层：设备网元网管层、告警接口层和告警终端层，如图 2 所示。

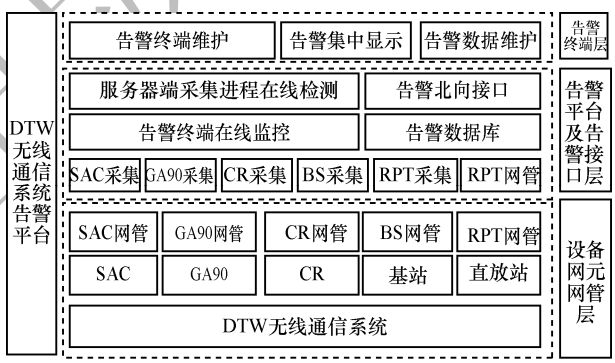


图 2　集中告警平台层级架构

3.1　设备网元网管层

DTW 系统 Ss 版本设备网元网管层由网元设备、网管服务器及设备网管程序组成。网元设备分为 SAC 业务接入控制器、BS 无线基站、CR 录音服务器、RPT 光纤直放站、GA90 媒体网关等实体硬件设备。

- SAC、BS、CR 设备的告警消息通过安装在网管服务器（单一配置）上的网管程序（Imalarm）采集并转发，上报至集中告警平台。网管服务器自身不产生告警消息，也不接受 DTW 系统集中告警平台的监控。
- RPT 告警网管安装在 DTW 告警平台侧，通过串口服务器与近远端 RPT 网元设备进行通信。网管以并发交互方式，获得每个 RPT 设备的数据标识数据（近端 2 项、远端 5 项参数），经采

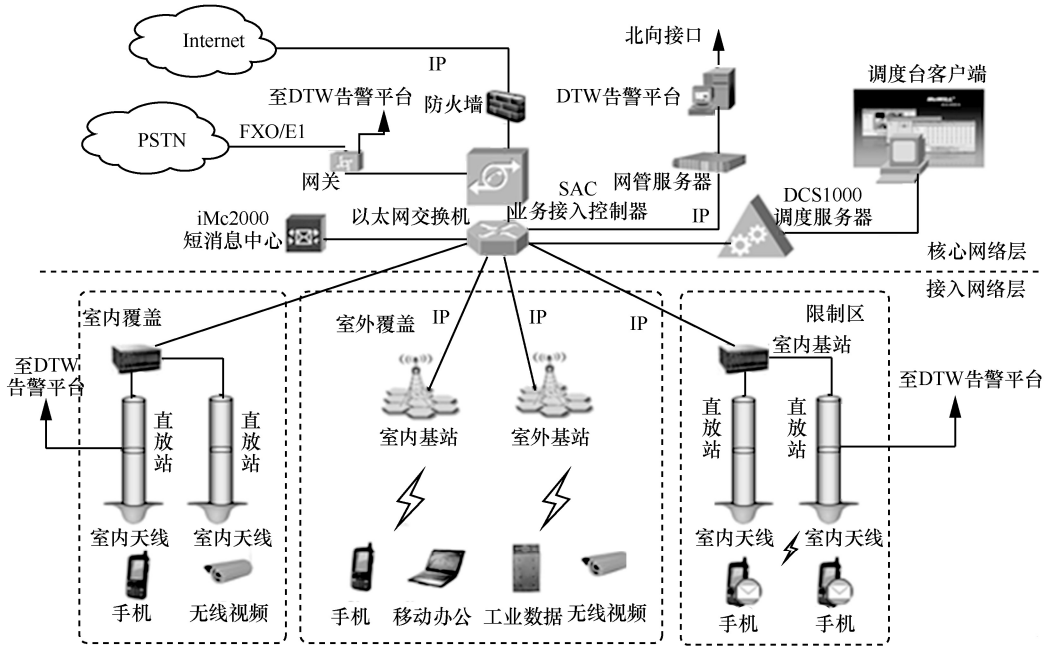


图 1　DTW 系统集中告警平台在线监测

集和分析，对于连续 3 次测试结果不满足门限参数条件的数据标识项所对应的网元设备产生设备告警，并将告警消息上传告警管理层，告警网管程序（RPT Console）为单机配置。

- GA90 设备的业务和告警网管为同一程序，安装在 GA90 设备侧，GA90 告警网管的运行参数在 GA90 主备双机上配置。

3.2　告警接口层

告警接口层由告警北向接口、服务器端采集进程在线检测、告警终端在线监测及各网元设备采集接口组成。告警接口层主要负责对设备告警消息、告警恢复消息、告警网管心跳、设备在线状态进行采集、解析、分类入库、消息汇聚和消息分发（分发到告警终端层以及北向 DTJ 接口），并提供告警业务处理流程。通过本层内的设备接口对业务程序的数据采集进行状态监测，保证告警数据采集、入库、告警业务流程等工作的正常运行。

3.3　告警终端层

告警终端层由告警集中显示和告警终端程序组成。告警集中显示采用系统拓扑图方式显示设备故障的类别和位置，便于系统监管人员和系统维护人员全面了解集中告警平台工作状态；告警终端负责对告警/告警恢复的显示、受理、确认等业务管理操作及设备告警的查询和统计分析等。

4　DTW 系统集中告警平台组成结构及技术特性

4.1　组成结构

从告警消息的传递方向上看，集中告警平台由设备告警网管模块、告警数据采集管理模块、告警终端模块及告警数据库 4 部分组成，模块之间消息传递采用 UDP 通信模式。

- DTW 系统提供 SAC、BS、CR、RPT、GA90 5 类设备网关告警接口，集中告警平台对应 5 个数据采集程序。数据采集程序监听来自设备网管的告警消息和心跳消息，并对采集到的告警信息进行解析和转发。
- 进程在线检测程序，监测 5 个数据采集程序和 3 个服务器端运行程序（RPT 告警网管程序、告警终端管理程序、PingIP 程序）工作状态，保证服务端程序始终在线工作，并定时将进程在线状态发送告警终端管理程序。
- 告警终端在线监测程序负责汇聚并接收和转发来自设备网管的告警、告警恢复、心跳等消息，并为告警终端程序提供登录、注销消息转发，为 DTJ 接口 Do 输出线路提供控制信号，提供数据库接口。
- 告警终端程序实时接收显示告警消息、设备告

警网管通信状态，查询网元设备属性及设备详细，对告警数据进行查询统计。并针对网元设备告警和告警恢复消息，设计了专门的设备告警故障处理流程，提供数据库接口。

4.2 技术特性

集中告警平台基于主流的开放技术框架，采用 CS 软件架构体系设计，能快速地对接收到的海量告警数据进行综合处理，采用模块化设计，可根据业务的需求进行灵活扩充，具体特性如下。

（1）实用

性价比高，易维护，易操作，个性化的显示界面使告警信息一目了然。

（2）扩展性

采用模块化结构设计，可根据业务发展进行灵活扩充以适应不断增加的扩展需求。

（3）可维护性

在线进行诊断和检测，能及时发现系统各功能单元的故障情况，便于系统故障的维护处理。

（4）实时性

平台接口采集的数据通过网络实时传输与保存，还可用于日后的数据查询和分析。

（5）可靠性

设备具有良好的电磁兼容性和电气隔离性能，安全可靠性高，有足够的抗干扰能力，不影响被监控设备的正常工作。

5 告警业务处理流程

5.1 告警信息类型

集中告警平台的设备告警信息可分为故障告警和传输中断告警两大类型。

设备故障告警：指通过告警网管上报网元设备硬件设备故障或工作异常而产生的告警。设备故障告警一般有“产生”与“恢复”两种状态，并且告警的产生与恢复是相互对应的。

传输中断告警：指设备告警网管与集中告警平台通信传输不畅引发的告警，分两种情况：第一，网管告警接口在定时发送心跳数据分组给集中告警平台时，由于设备告警网管程序服务中断终止，导致告警终端管理程序连续两次以上未收到设备告警网管的心跳数据，就会产生传输中断告警；第二，由于物理连接中断，导致集中告警平台不能有效检测到告警网管所属的硬件网络设备在线，即由 PingIP 程序检测和上报的告警。

5.2 告警信息级别

告警级别用于定义设备故障对 DTW 系统的影响程度和网元设备在系统中的权重，按影响程度可分为四级，分别是“紧急告警”“重要告警”“一般告警”和“提示告警”。不同告警级别的定义和作用见表 1。

5.3 告警信息处理流程

告警信息处理流程一般包含告警消息受理、告警消息确认、告警消息恢复和告警恢复确认 4 个步骤，但是根据 DTW 系统网元设备告警级别的不同，执行处理流程的步骤也有所差异，主要有以下两种处理流程。

- 对“紧急告警”“严重告警”“一般告警”这 3 个级别的告警消息，需执行告警消息受理、告警消息确认、告警消息恢复、告警恢复确认 4 个步骤的流转才能完成整个告警的业务处理。
- 对于网元设备的“提示告警”消息只需要执行告警消息受理、告警消息确认两步即可完成告警流程的处理，处理流程如图 3 所示。

5.4 告警日志

告警日志用于记录集中告警平台各程序的运行状态和接收发送的告警信息，以便于进行数据信息回溯。在集中告警平台的数据采集程序、终端告警管理程序、告警终端程序、集中告警显示程序的界面中，均有设

表 1 告警级别的定义和作用

告警级别	定义	作用
紧急告警	指带有全局性的、会导致通信系统瘫痪的故障告警和事件告警	提示需紧急处理，否则系统有瘫痪危险
重要告警	指局部范围内的单个设备或线路故障告警和事件告警的故障，如 RPT 掉电故障等	提示需要及时处理，否则会影响重要功能实现
一般告警	指一般性的、描述各单个设备或线路工作是否正常的故障告警和事件告警，如 RPT 数据标识故障告警等	发送此类告警的目的是提醒维护人员及时查找告警原因，消除故障隐患
提示告警	指系统产生了一次性事件，事件告警是设备运行时的偶然性事件，是设备运行时的一个瞬间状态，事件告警只有发生，没有恢复	提示维护人员关注设备的运行状态，近期发生故障的可能性比较大

人民邮电出版社出版

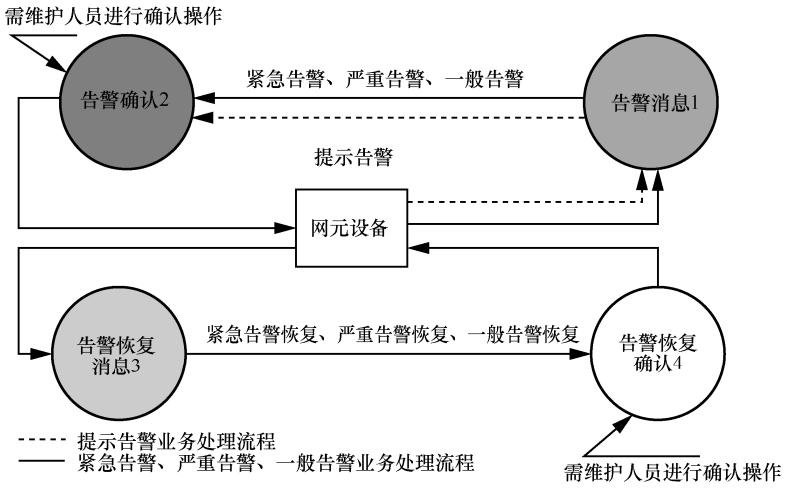


图 3　告警处理流程

备告警消息实时和历史告警日志可供查询。

6　结束语

DTW 系统集中告警平台目前已在多个核电站完成建设并投入使用，系统维护人员可通过告警监控平台实时监测 DTW 无线通信系统各设备的工作状态，及时发现设备告警和告警的原因，节约故障处理时间，保障无线通信系统的稳定运行。系统维护人员还可通过告警平台的对历史信息的统计进行智能分析，提出优化建议，帮助系统维护人员发现并解决潜在的故障，提升 DTW 无线通信系统的稳定性、可靠性，实现电站应急系统的安全、平稳运行。

参考文献：

[1] 金怡初. 秦山核电站的无线通信设计特点[J]. 上海电力学院学报, 2009, 25(2): 150-152.

[2] RAPPAPORT T S. 无线通信原理与应用[M]. 周文安, 译. 北京: 电子工业出版社, 1996.

[3] 温鸿雁. 宽带无线通信技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.

人民邮电出版社

核电站综合布线标准化研究

叶萌萌，伍泽军，邓文杰，刘杰
（中国广核电力股份有限公司信息技术中心，广东 深圳 518000）

摘　要：核电信息化的不断发展，对核电站现场、办公区域智能化建设要求越来越高，而智能化是以综合布线系统为基础来实现的，主要针对核电综合布线系统施工与优化过程进行归纳总结，提出一种适用于核电特殊环境的布线标准。

关键词：核电站；综合布线；优化；布线标准

1　引言

随着核电站的“智慧核电”的推出，综合布线系统由于其实用、开放、灵活、先进、可扩展的特征，越来越受到关注和重视，作为一个稳定性极高的布线系统，需要支持语音、宽频电话网络、计算机数据及高速图像信号等各种信息的传输，而核电站由于设备、光电缆多，需要一个综合布线系统标准来规范线缆敷设及跳接。本文主要针对核电综合布线系统施工与优化过程中遇到的问题提出相关标准。

2　核电站综合布线目标

综合布线系统，是指通信电缆、光缆、各种软电缆及有关连接硬件构成的通用布线系统，它能支持多种应用系统。即使用户尚未确定具体的应用系统，也可以进行布线系统的设计和安装。结构化的布线设计应该满足以下目标。

（1）满足电站各业务要求

兼顾发展布线设计必须能够满足电站各业务的需求，并能兼顾未来的发展需求。

（2）易于扩展

随着电站的智能化发展，电厂后续会增加一些信息化业务，这需要综合布线系统预留空间，符合当前和以后的信息传输需要，保证较好的扩展性和足够的升级空间。

（3）高质量传输

核电站的业务较多、信息传输量大、环境复杂，这就需要综合布线系统能够支持语音、数据、图像等综合信息的稳定、高质量传输，并能适应各种不同类型、不同厂商的电脑及网络产品需求。

3　核电站综合布线原则

（1）实用性原则

系统的设计、选择应满足用户在现在和未来的几十年内对通信线路的要求。

（2）灵活性原则

信息点的设备安装合理，不影响其他系统设备，可即插即用。

（3）扩充性原则

尽可能采用易于扩展的结构和接插件。

（4）易于管理原则

便于管理，有统一标识，方便配线、跳线。随着核电站进入商业运营阶段，设备间、工作区的电缆、光缆、配线设备、终接点、接地装置、管线等组成部分均应给定唯一的标识符，并应设置标签。标识符应采用统一数量的字母和数字等。电缆、光缆两端的标识符相同。

4　核电站综合布线系统现状

目前核电站运维过程中，出现了以下问题。

- 由于光缆、电缆较多，链路较长且复杂，电缆、光缆只有两端标明标识符，廊道、缆沟部分没有制作标识，后期线缆整改、改造过程无法识别，极易发生误操作及下游业务断开的重大事件。
- 部分机柜未携带理线功能，工程期间只能进行线缆绑扎，机柜内跳线两端没有粘贴标签，增加后续维护难度与成本。

人民邮电出版社出版

- 工作区信息点至终端设备间没有统一的布线方案，造成布线混乱，不符合办公室安质环标准要求。

5 问题解决方案

针对以上列出的问题，核电站标准化综合布线方案如下。

在线缆敷设过程中，每隔 10 m 左右粘贴一张标牌，特别是线缆穿过封堵两边、廊道、缆沟转弯处；标牌内容需说明线缆从哪里到哪里、什么业务、哪个部门负责，以便在后续整改、改造过程中识别风险，采取相关防范措施。标牌模板如图 1 所示，根据重要性确定标牌颜色，关键系统链路采用红色标识，非关键系统链路采用白色标识。

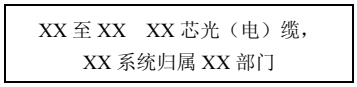


图 1 光电缆标牌

在工程设计阶段，明确要求机柜需携带完整的跳线理线功能，包括横排、竖排；机柜跳线过程中，跳线两端需粘贴标签，标明本端、对端端口，标签模板如图 2 所示，关键业务跳线采用红色标签标明，非关键业务可用黄色标签标识。

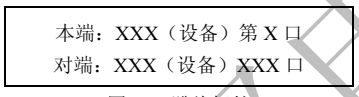


图 2 跳线标签

针对工作区布线问题，在确定使用地点的家具、终端设备的安装位置后，再根据家具布放特点进行线缆布线。

- 办公区域同时有地插和墙面两种信息点时，不从地插引出信息点，从墙面引出信息点，线缆路径从家具隐蔽点或者后方通过，不从人员走动及桌椅的移动区域经过。
- 没有家具遮蔽的区域，采用 PVC 方形管沿墙敷设，在隐蔽位置经过地面，用 PVC U 型管敷设。
- 若家具、卡位本身自带管径，线缆可从管径敷设，没有管径的办公桌从地面开始引多根线，每隔 20 cm 左右用扎带绑扎，再用缠绕管缠绕绑扎。
- 若工作区线缆传输路径较远，可从将信息点用方形 PVC 管敷设至天花板，再从天花板另一端沿方形 PVC 管敷设至终端。
- 若工作区为生产区域，线缆走线需采用镀锌钢管敷设，根据不同区域特点，线缆需具备耐腐蚀、阻燃等特性。
- 完成线缆敷设后，进行线路通断测试，并粘贴标签，标签格式如图 2 所示。

6 结束语

核电站综合布线系统标准的建立，加强了电站系统标准化的管理，有助于减少人为失误，保障设备的稳定可靠和机组的正常运行，为核电信息化的发展创造稳定有利条件。

参考文献：

[1] 浙江省住房和城乡建设厅. 孙珣. 综合布线技术及其系统管理方法研究[J]. 城市建筑, 2014(6): 344.

[2] 建筑电气工程施工质量验收规范：GB 50303-2015, GB 50303-2015[S]. 2015.

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 综合布线系统工程设计规范: GB50311-2016[S]. 2016.

人民邮电出版社出版

基于“PDA+RFID”的电力智能巡检系统

秦宁丽
（北京国电通网络技术有限公司，北京 100070）

摘　要：在电力行业需求旺盛的背景下，结合电力巡检系统目前的发展现状，提出了基于“PDA+RFID”的电力智能巡检系统，从 PDA、RFID 技术、“PDA+RFID 技术”相结合的电力智能巡检系统进行介绍。该系统在辽宁电力公司的部署反响，说明了本文的设计具有一定的可行性和优越性。

关键词：电力智能巡检系统；PDA；RFID

1　引言

随着社会信息化的脚步加快，信息管理作业在各行各业的重要性逐步增加，尤其是电力系统，它的稳定性和安全性与国家和社会的发展密切相关，确保电力系统的安全运行已成为电力管理部门的首要任务[1]，力求可以为经济和社会发展挽回不必要的损失[2]。

现实中的各种电力设备大多数是暴露在外或深埋地下，容易受到外部雨水冲击、强风、自然雷击、土壤腐蚀等影响，此外设备长年累月地运行，要不断承受高温、强磁场和机械负荷，这些不可抗因素将会导致设备容易老化磨损、氧化和腐蚀，如不及时发现并且维护，将在很大程度上造成设备故障，对电力系统的安全性和稳定性构成威胁[3]。

通过电力巡检作业及时发现线路的各种缺陷和安全隐患，并上报这些隐患信息，及时消除隐患和缺陷障碍，最大限度地减少事故发生的可能性，从而确保电力系统安全稳定运行，实现电力系统“安全、经济、多供、少损”的运行目标[4]。

2　电力巡检系统的发展现状

电力巡检系统的主要功能是使用电力巡检设备对现场（输电线路、变电站、通信设备等）进行巡视检修，记录巡检数据，通过互联网和管理系统之间实现上传和下载功能，管理系统将巡检数据经内网传输到服务器对其统计分析后，存储在后台数据库。网络拓扑结构如图 1 所示。

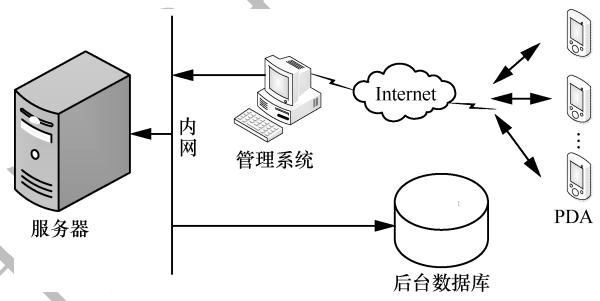


图 1　电力巡检系统网络拓扑结构

电气化革命[5]兴起于 20 世纪的美国，在国外的巡检作业中，除了传统的人工巡检，还引入了视频监控和智能机器人等先进技术，这些多是基于 GIS 通过图形模式识别和机器人自动记录将巡检结果存储在大型数据库中。尽管这些技术较为先进，但不具备高度适应性、灵活性及自主性，所以大多依然是采用移动终端的人工巡检。

在国内，常用的电力巡检方式也是人工巡检[6]，但记录数据的方式却不尽相同，有传统的纸质记录、自动识别技术以及 PDA 巡检。

（1）纸质记录数据的巡检方式

这种方式一般由管理者对巡检人员口头或者书面形式下达任务，然后巡检人员按照要求到达地点巡检，在巡检过程中书面记录巡检数据或者巡检过程中发现的问题。

（2）自动识别技术的巡检方式

自动识别[7]就是使用专用设备对载有数据载体进行数字识别，例如条形码、字符等，然后将获得的数据转化电子数据，目前普遍使用的有条形码[8]、信息钮以及 IC 卡。

（3）PDA 巡检方式[8]

PDA（personal digital assistant，个人数字助手）

是集计算、通信、娱乐、传真等各种功能于一体的智能移动终端，可方便记录巡检数据，在网络流畅情况下，巡检工单可以随时下载便于及时作业，巡检数据也可以随时上传，随着国内外的 PDA 技术的不断积累，硬件条件逐渐成熟，这种巡检方式被大量采用，给巡检人员带来了很大的便利。

上述 3 种巡检方式中，无论是纸质记录还是自动识别，都存在很大缺陷。纸上记录时巡检人员的文化素质水平和经验积累存在差异，可能存在大量不真实的数据，也会给数据整理统计人员带来很大的工作量。自动识别的巡检方式成本相对来说太高，所记录的数据容量也有限，难以很好地统计管理巡检数据。PDA 巡检方式方便快捷，准确度相对较高，提高了工作效率，给作业人员和管理人员都带来了极大的便利。

3 基于“PDA+RFID”的电力智能巡检系统

3.1 PDA 智能移动终端

如图 2 所示，本系统开发的是一款具备 Android 5.1.1 双域隔离操作系统及北斗+GPS 双模定位功能的电力巡检 PDA，采用 5.5 英寸大尺寸显示屏，工业防护等级较高，适应于野外恶劣环境，支持多扩展功能模块，兼容国家电网公司安全接入平台的安全加密 TF 卡及 APN/VPN 安全网络通道，使多款作业平台可以通过安全接入平台进行数据传输，保证了电力巡检数据的安全性，多用于营销客户服务信息的采录、电力巡检、现场作业等各类应用环境。



图 2 电力巡检 PDA

该智能移动终端可达到以下目标。

（1）巡检操作简易化

巡检人员手持 PDA 打开相应的巡检软件，可以看到相应的功能操作按钮，同时也能够看到巡检路线，简单易懂。

（2）巡检记录无纸化

现场的巡检数据将传输到管理系统，然后在数据库备份存储，方便管理人员及时查看巡检信息，提高了工作效率。

（3）信息载体多样性

基于野外工作的特点，可以采用多种方式如一般的输入法、手写输入、数码摄影、录音记录等记录数据。

（4）输入数据的方便快捷/准确性

常见的巡检数据记录词汇已设置成选项，操作人员可以直接选取；有些数据文本记录可以在历史数据基础上进行修改，最大限度减少直接输入，重用已有信息，避免信息的不准确性，提高了数据输入的效率。

（5）数据查询便捷化

管理人员登录管理系统，打开定位软件，根据相应的条件（比如人员姓名、作业时间、作业路线）查询现场情况，而且不需要自己填写，全部都是以下拉框选择或者控件选择的方式，方便又清楚。

（6）缺陷信息等级化

巡检人员根据自己的经验判断设备或者线路的缺陷情况，常见的有轻微、一般和严重，管理人员查看缺陷的等级后可及时下达指令，采取解决措施。

（7）巡检任务明朗化

管理人员能查看到已经完成的、正在进行的、未完成的任务完整信息（任务巡检人员、任务路线、任务下达时间、完成时间、路线上的缺陷信息等）。

（8）管理界面友好化

简洁友好的管理界面设计有助于操作，可以满足各种文化水平的巡检人员和管理人员使用。

3.2 RFID 技术

RFID（radio frequency identification，无线射频识别）[9]，俗称电子标签，RFID 是一种非接触式的自动识别技术，它通过射频信号自动识别目标对象并获取相关数据，识别工作无需人工干预，可工作于各种恶劣环境，大大提高了电力行业的安全巡检能力，使这项工作达到了一个新的层次，运用 RFID 技术进行设备巡检主要有以下几方面优点。

（1）对抗外力侵害，快速采集数据

长期暴露在大自然中的输配变线路和设备多处于长期运行状态，致使遭到很多不可抗拒因素的影响，RFID 相对于条形码标签具有的技术优势特点（防污、损、紫外线等室外恶劣环境能力强，读取距离远，信

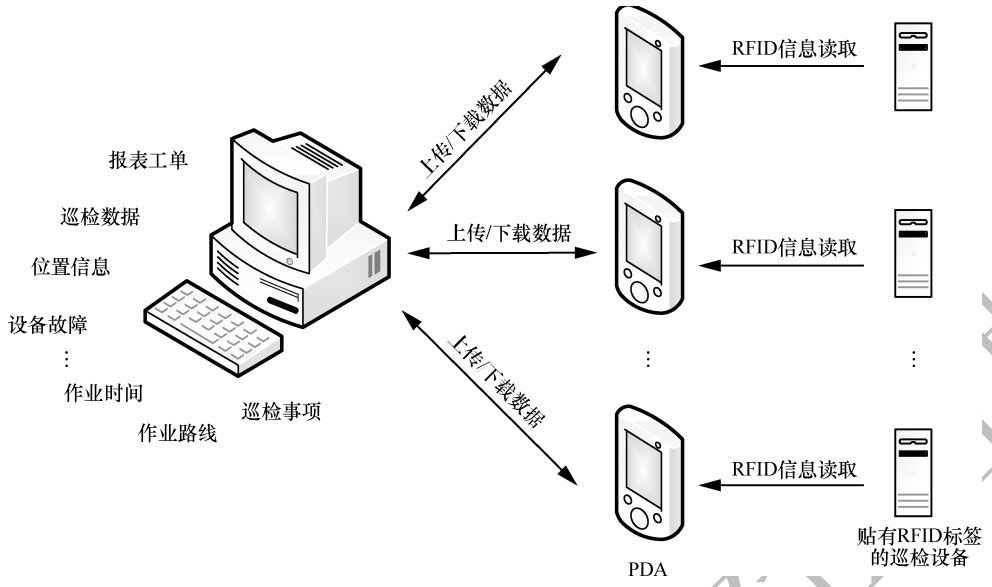


图 3 “PDA+RFID 技术”的电力巡检系统

息反复删写，存储容量大，防冲撞）克服了上述影响。射频技术采用的是无线电技术原理，读取设备只需通过无线电波就可以快速进行数据采集工作。

（2）控制人员到位率，信息输入规范化

巡检工作分为线路巡检和变电巡检两大部分。线路巡检工作由于需要翻山越岭，到位的控制工作尤其重要；变电巡检工作要求巡视人员对变电站设备进行定时或不定时巡视。利用射频读写设备系统就可以实现巡检到位控制工作。

（3）特殊环境巡检，保障供电系统的安全运行

根据频率 RFID 一般分为低频、高频、超高频，在巡检工作中常用的超高频 RFID，可以在特殊环境读取两米左右的标签信息，对于一些特殊环境中的巡检工作（处在高压环境中或被置于有一定高度的设备）带来了很大帮助。巡检人员可以远距离更新标签所对应的设备信息，使巡检数据实时传送后台信息系统进行数据分析、记录。

2.3 “PDA+RFID 技术”相结合的电力智能巡检系统

如图 3 所示，该电力巡检系统的巡检部分采用 PDA 作为移动智能终端，使用 RFID 技术实现现场采集录入数据，然后通过 Internet 将设备巡视信息和故障信息快速上传至管理系统。巡检人员可以利用 PDA 预置的设备信息数据库，实时查询设备巡检任务、设备参数等信息，以提高巡检效率和巡检质量。

目前已将其应用在很多网省公司，典型的是以辽宁电力公司作为试点的变电运维项目，本项目是将变电运维 App 安装在 PDA 上，并结合 RFID 技术对变电站实现智能巡检，典型功能界面如图 4 所示，大大提升了变电站巡检的效率。



图 4 功能界面

本研究的系统实现了以下几个目标。

（1）灵活的缺陷描述库

系统采用常用语句模板进行缺陷录入，规范缺陷的描述和记录，使缺陷管理标准化。

（2）安全的数据备份

为了确保数据的安全性，系统提供数据自动备份到 PDA 的 TF 卡[10]上与恢复功能。

（3）完善的统计分析

对巡检记录、缺陷情况作详细分析与处理，是提高设备运行管理软件产品的应用价值的重要方面。系统通过图表、报表等形式对巡检数据、缺陷情况进行直观的表述，便于管理人员做出正确的决策。

通过 PDA 与 RFID 识别技术相结合成功开发的巡检系统，可以很好地解决企业在巡检方面存在的问题，为企业带来切实的效益，主要体现在以下几个方面。

- 方便了巡检人员的巡检操作，减少了人为错误的几率。
- 确保了巡检人员到位，保证了巡检质量和巡检工作的管理效率。
- 巡检质量和效率的大幅提高，很好地保证了设备的稳定运行，防患于未然，减少故障发生率，降低企业运营成本。
- 提高了数据分析和统计功能，提高了管理人员处理缺陷的效率。
- RFID 技术可识别高速运动物体并可同时识别多个标签，操作快捷方便，大大提高了电力行业的安全巡检能力。

电力巡检系统解决了传统巡检方式工作量大、效率低、纸笔录入数据、差错率高的缺陷，采用信息化技术努力实现电力巡检管理工作的智能科学化。该系统一方面监管巡检人员，实时通过地点线路等查询巡检情况；另一方面以信息化技术面向电力设备的管理，达到安全、经济、科学和实效的管理目的，实现信息网络化、管理规范化[11]。

4 发展趋势

近年来，随着国家电网的快速发展，电力设备巡检工作量逐步加大，巡检管理问题也不断凸现出来。为此，电力巡检公司结合大数据平台等技术，基于智能移动终端的巡检完全替代了早期的有纸化作业，但无论是现在的无纸化操作还是以前的有纸化操作都属于人工巡检，鉴于巡检环境的恶劣以及地势偏远，人员极其短缺以至于很多单位采取了间隔时间较长的定期巡检，这样的规定不可避免地导致一些问题无法及时被发现，工作效率低下，给广大用电人员及厂矿带来了很多不方便及造成了利益损失。

电力巡检系统的发展也正在构建以智能机器人[12]、智能单兵装置[13]、线路无人机[14]为支撑的综合智能巡检模式。在智能巡检机器人运用过程中，结合虚拟现实技术，实现机器人的精确定位，并开发出机器人噪声监测仪、超声驱鸟器等硬件模块，全面提高机器人执行复杂巡检任务的能力。未来将会把后台数据库、运维人员、智能终端、巡视专家软件应用融为一体，整个巡视结束自动形成报表和分析报告，实现了“现场比对出结果、一键传输出报告”的巡视效果，有效提高数据采集准确率，极大减轻运维人员巡视工作量。

另外，随着 RFID 技术的大范围普及，应用超高频的需求日益扩大，其相关问题也凸显出来。首先，超高频技术不完善；其次超高频标准不统一；最后超高频成本处于瓶颈期。随着电力信息化的快速发展，基于以上 3 方面的问题亟待解决。

未来，智能巡检技术应用范围将进一步拓宽，加大线路无人机巡检智能化技术开发，在无人机巡检信息采集和管理数字化、对象捕捉和跟踪自动化、缺陷识别和诊断智能化等方面加强研究应用，以科技创新保障电网安全运行。

参考文献：

[1] 杨秀娟. 综合监控系统在电力系统中的应用[J]. 电力系统通信, 2013, 34(2): 60-63.

[2] 贾楠. 电力系统安全管理探究[J]. 中国电力教育, 2014(12): 235-236.

[3] 冯力娜. 基于粗糙集的电力通信网及电力信息安全分析[D]. 保定: 华北电力大学, 2009.

[4] LEW R. The future of power line inspection[J]. Electrical World, 2000, 214(5): 25-27.

[5] 曾鸣. 能源互联网与能源革命[J]. 中国电力企业管理, 2016(6): 36-39.

[6] 周高, 王文华, 郝晓红, 等. 基于可见光通信的室内变电站巡检挂轨机器人系统设计[J]. 电工技术, 2017(9): 48-49.

[7] 赵军辉. 射频识别技术与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.

[8] 王素珍, 刘树坤, 张德华, 等. 基于 GPS 定位导航的电力巡检 PDA 系统研发[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2016, 47(4): 540-547.

[9] 余立刚. 基于 RFID 技术的电子标签分析及在电力基础设施上的应用[J]. 建材与装饰, 2017(24): 227-229.

[10] 梅欢. 基于 TF 密码卡的信息传递系统客户端设计与实现[J]. 河北省科学院学报, 2016, 33(1): 18-21.

[11] 高中文, 薛岚, 陶玉香, 等. 基于 GIS 的直升机输电线路巡检系统的研究与设计[J]. 信息技术, 2007, 31(8): 25-27.

[12] 艾春雨, 潘翔, 卢玉琴, 等.智能机器人巡检系统在变电站中的应用[J]. 科技创新与应用, 2016(33): 214-215.

[13] 程永, 孙炎. 电力巡检人员的单兵智能巡检装备研究[C]//2013 年江苏省电机工程学会城市供用电专委会学术年会, 2013 年 11 月 28-29 日, 中国, 南京. [S.l.:s.n.], 2013: 26-28.

[14] 李旭洲. 浅谈无人机在电力线路巡检中的应用[J]. 大科技, 2017(27): 46-47.

[15] 张佩英, 贾宇灿. 教师业务档案网络化管理系统的研究开发[J]. 微计算机信息, 2010, 26(30): 132-134.

人民邮电出版社出版

基于 BIM 的电网基建工程管控系统

时美晨，游龙勇
（北京中电普华信息技术有限公司，北京 100085）

摘　要：利用 BIM 等先进信息化技术，围绕电网基建工程管理，提出了一种基于 BIM 的电网基建工程管控系统，实现工程过程管理数字化、数据应用体系化和分析决策智能化的建设目标。在提出基于 BIM 的电网基建工程管控系统的建设目标后，系统地阐述了由数据采集层、数据库层、3D GIS+BIM 平台层、综合应用层组成的四层架构，本研究将 BIM 技术与其他先进技术、设备进行集成应用，并重点发挥其在六大管理专业的应用，最后从 4 个层面总结分析了本研究对电网基建工程管理绩效的提升效果。

关键词：BIM；电网基建；工程管控；3D GIS；管理绩效

1　引言

近年来提出的“互联网+”行动计划，实施“中国制造 2025”，其本质都是新技术与传统产业融合，推动生产方式和管理模式创新。立足于新技术应用，聚焦于基建管理绩效提升，建立电网基建工程管控系统是进一步加强基建管理创新工作力度的必然路径和有益实践。通过研究各领域成熟新技术，结合电网工程现场管控需求，建立基于 BIM 的电网基建工程管控系统，提炼其核心管控点与管控要求，创新基建管理方式和途径，提升基建管理精益化水平。

2　概述

基于 BIM 的电网基建工程管控系统利用 BIM 和 GIS [1-5]等先进的信息技术，将辅助工程各参建单位进行项目的协同管理。基于 BIM 的电网基建工程管控系统将为业主、监理、施工单位、咨询、设计院等单位提供统一平台，从而对项目进行系统化、专业化的管理。其以 BIM 为核心，采用移动互联、大数据、物联网等应用技术，实时反映项目进展情况，提高各参建单位的信息沟通效率，利用现代化的信息技术有效提高工程项目管理水平，确保项目质量、安全目标的实现，真正实现了实用意义上的基于 BIM 的工程项目协同管理，并达到节约投资及工期的目标。

3　系统架构

系统采用 B/S 架构，以面向服务的设计为理念，以先进的 3D GIS+BIM、RDBMS 为核心服务和数据平台、集成第三方异构系统推送的状态数据，同时支持 COM 组件架构。系统的总体架构如图 1 所示。

信息化管控平台采用四层架构，由数据采集层、数据库层、3D GIS+BIM 平台层、综合应用层组成。

- 数据采集层：主要包括人工录入和数据采集系统集成。包含了地理空间信息、BIM 模型与属性信息、各类传感器、二维码信息的采集获取等；其中“外部系统数据接口”支持动态监测系统通过网络接入本系统。
- 数据库层：采用 5D（3D 模型+1D 时间+1D 内容）数据库设计，包括时间和空间组合的方式实现项目全程所有数据信息按时间（包括了版本信息）管理。主要包括业务应用业务数据库、地理空间数据库、动态监测数据库等。其中应用业务数据库包含系统管理和业务应用产生的各类数据。地理空间数据库包含构建整个数字地球三维场景的各类基础数据：遥感影像数据、矢量地图数据、数字高程模型数据、BIM 模型数据库和建筑三维数据库等。
- 3D GIS+BIM 平台层：包含对整个系统的三维地理空间及综合业务信息支撑部分。包含空间数据构建引擎、空间数据服务引擎和空间数据承载应用等[6]。平台层通过各类地理空间数据的融合处理以及业务员数据的组织调用，为各类三维空间的应用提供支持。同时依托强大的二次开发接口，可以支持对已有信息化建设投

人民邮电出版社出版

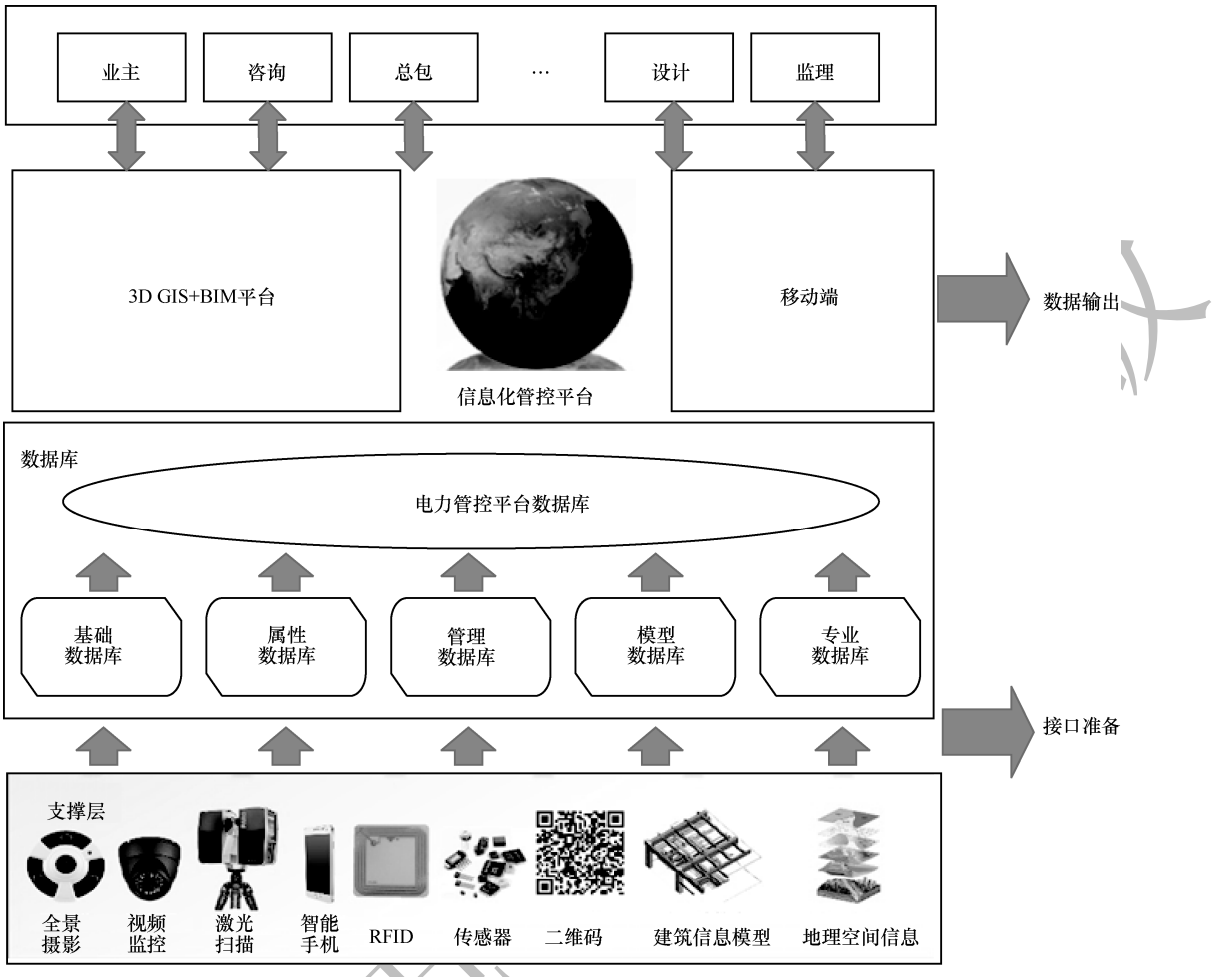


图 1　基于 BIM 的电网基建工程管控系统总体架构

资的保护和继承；支持异构系统的接入、功能子模块的增加以及其他特殊应用的扩展。

- 综合应用层：是在数据采集、5D 数据库、系统平台与二次开发接口的支持下，根据项目的需要，完成各种应用功能，实现工程建设相关单位的协同管理。

4　功能设计

在电网基建工程管控中，将 BIM 技术与其他先进技术、设备集成，加强在工程进度管理、安全管理、质量管理、技术管理、造价管理以及综合管理等专业的应用，将有效提升管理绩效，降低项目管控成本。

4.1　BIM 与先进技术设备集成应用

BIM 与物联网集成应用，实质上是建筑全过程信息的集成与融合。BIM 技术发挥上层信息集成、交互、展示和管理的作用，而物联网技术则承担底层信息感知、采集、传递、监控的功能。二者集成应用可以实现建筑全过程“信息流闭环”，实现虚拟信息化管理与实体环境硬件之间的有机融合。

BIM 技术还可以与视频、定位、安全监测设备、二维码（RFID）、专用报警设备进行集成应用，具体如下。

- BIM 技术+视频：视频与 BIM 融合，结合 BIM 模型探索智能视频识别，引入视频会议设备。
- BIM 技术+定位：基于 BIM 模型细化施工作业场区、工程空间，探索精确定位技术应用场景。
- BIM 技术+安全监测设备：实现工地微气象、扬尘、噪声和基坑等监测。
- BIM 技术+二维码（RFID）：建设资源追踪与管理。
- BIM 技术+专用报警设备：危险点、临边和洞口等报警。

4.2　BIM 在六大管理专业的应用

重点发挥 BIM 技术在可视化与精细化方面的优

势，在进度（计划与填报）、安全（风险作业、安全作业票）、质量（标准工艺、质量验评）等专业的应用。

4.2.1 进度管理

（1）进度查看

将施工进度计划于 BIM 构件进行一一关联，进度信息直接与施工进度计划工作分组绑定，经过审核确认后将自动关联至对应的 BIM 构件。项目管理人员可直接通过平台可视化窗口查看当前的 BIM 虚拟进度，并通过现场视频监控的接入，在平台上打开视频监控，查看实际建设进度是否与 BIM 虚拟进度一致[7]。

（2）进度计划调整

在施工过程中经常会遇到进度计划调整，一般情况下是项目管理人员手动进行调整编制，但是传统的调整方式不仅效率低，而且容易出错。基于 BIM 的管控平台可以提供辅助进度计划调整功能，能够自动识别计划任务分组之间的关联性，对有前后关联性的任务，当调整其中一项任务的时间，其他任务将自动依次调整相应的周期。

4.2.2 安全管理

（1）安全预防

通过 3D GIS+BIM 的全景可视化平台，对施工现场进行安全区域规划，可以实时查看各安全区域是否符合要求。通过现场检查，发现的安全隐患位置可在 BIM 模型上进行标注，所有现场人员的移动端均可收到相关安全防范信息，提前预防降低安全事故发生率[8-9]。

（2）现场安全管控

安全管理人员通过移动端对现场安全问题进行记录和拍摄影像资料，并在基于 BIM 的管控平台发起安全管控流程，主管人员能够在第一时间了解安全问题的信息，并给出相应的处置措施，缩短了安全问题处理的时间[10]。

（3）监测监控系统

将监测设备接入平台，并在 BIM 模型上对应位置建立设备模型，可以实现在 BIM 可视化窗口远程查看各类监测数据及统计报表，对监测数据超过偏差允许值的，系统会将报警信息发送给相关的责任人[11-12]。

4.2.3 质量管理

（1）现场质量管控

基于 BIM 的管控平台建立了现场质量管控流程，现场质量管理人员发现质量问题后，通过移动端 App 将相关信息和影像资料上传至平台，发起质量管理流程，相关负责人会第一时间收到信息，管理人员能够实时追踪查看当前问题处理状态，问题处理完成并经过复查合格后流程结束。

（2）二维码应用

对于机电设备、装配式构件等，采用 BIM 与二维码集成应用进行管理，可辅助验收，构件、设备从出厂、运送至现场、安装完成、验收的每一个环节都可通过扫描二维码进行审核和信息交付[13]。

4.2.4 技术管理

（1）方案模拟

对复杂节点的施工方案或关键施工工艺，可通过 BIM 三维动画进行模拟，结合 3D GIS 能够将施工方案与周边地理环境信息进行综合分析，评判施工方案的合理性，以确保施工方案能最大限度地符合工程现场实际情况。

（2）技术交底

通过 BIM 可视化应用，项目人员在设计交底、方案会审时，能够形象地利用模型进行交底说明和方案必选，对现场人员进行可视化交底，并且交底过程中的交底资料和文件都储存在平台中与 BIM 构件关联，方便用户随时查看。

4.2.5 造价管理

通过 BIM 技术可将造价量计算精确到构建级，将每个构件对应工程量清单、项目定额、对应的人工、材料、机械使用消耗、管理费用等与 BIM 构件进行关联绑定，实现工程量计算与计价的双向数据协接，当模型改动时能够实时反映工程造价的变化[14-15]。

4.2.6 综合管理

（1）档案管理

施工过程中所有的资料文件都与对应的 BIM 构件进行关联，实现项目全过程资料的可视化管理，资料和 BIM 构件可进行双向查询。

（2）竣工移交

基于 BIM 技术，在确保竣工 BIM 模型与实体工程的一致性和准确性基础上，通过规范移交标准与移交流程，实现“虚拟工程”的数字化移交，为后续运行、检修专业的模型、信息与数据利用打下基础。

4.3 预期效果

基于 BIM 的电网基建工程管控系统的应用，将创新基建管理方式和途径，提高管理效益，从管理的各个层面有效减低管理成本。

（1）减少人员投入

通过管控系统的应用，大量的复杂的工作将会由

水电出版社出版

系统自动完成，如资料整理、数据统计等，能减少相关人员的投入，使整个项目团队更加精简，将有限的人力资源投入到关键环节，提高管理效率。

（2）减少管理成本

在成本构成中，管理成本是占比很重的一部分。通过信息化手段能够提高项目内部的管理效率，降低信息流通障碍；对机械设备、材料等能够做到精细化管理，减少材料损耗、减少机械设备的租赁周期等，这些都在无形中缩减了项目管理的成本。

（3）减少设计变更

设计变更往往会产生客观的成本增加，利用 BIM 及信息化技术能够减少大量的设计变更，从而控制额外的成本增加。

（4）造价精确控制

通过 BIM 技术对工程造价进行精细化管理，能够对造价进行有效预控，将造价变更控制在合理范围内。BIM 本身的特点使得造价控制能精确到构件级，因此任何细小的造价变动都可以及时发现并加以控制，防止造价变动产生累积效应，最终的造价结算不至于偏离预算过多[16]。

5 结束语

通过系统地阐述基于 BIM 的电网基建工程管控系统的四层架构，提出将 BIM 技术与其他先进技术、设备集成，加强其在六大管理专业的应用，该研究将有效提高电网工程的管理效益，从管理的各个层面减低管理成本。基于 BIM 的电网基建工程管控系统集成了大量高新的技术（如 BIM、GIS、物联网和移动互联等），充分运用了技术手段改变了传统的项目管理模式，是未来工程项目管理的必然发展方向。

参考文献：

[1] DENG Y, CHENG J C P, ANUMBA C. Mapping between BIM and 3D GIS in different levels of detail using schema mediation and instance comparison[J]. Automation in Construction, 2016, 67:1-21.

[2] KARAN E P, IRIZARRY J, HAYMAKER J. BIM and GIS integration and interoperability based on semantic Web technology[J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2016, 30(3):04015043.

[3] LU Q, WON J, CHENG J C P. A financial decision making framework for construction projects based on 5D building information modeling (BIM)[J]. International Journal of Project Management, 2016, 34(1):3-21.

[4] LAAT R D, BERLO L V. Integration of BIM and GIS: the development of the CityGML GeoBIM extension[M]. Advances in 3D Geo-Information Sciences, 2011:211-225.

[5] KANG T W, HONG C H. A study on software architecture for effective BIM/GIS-based facility management data integration[J]. Automation in Construction, 2015, 54:25-38.

[6] 范登科. BIM 与 GIS 融合技术在铁路信息化建设中的研究[J]. 铁道工程学报, 2016, 33(10):106-110.

[7] GARRIDO A C, GARCÍA-SANZ-CALCEDO J, SALGADO D R, et al. Planning, monitoring and control of mechanics projects by the BIM[J]. Oikos, 2017, 54(1):67-76.

[8] 曾凝霜, 刘琰, 徐波. 基于 BIM 的智慧工地管理体系框架研究[J]. 施工技术, 2015, 44(10):96-100.

[9] 肖飞祥, 沈春. BIM 技术在工程安全管理中的应用研究[J]. 江西建材, 2017(12):256-258.

[10] 武雷, 夏聘, 邵明民. BIM-SD 在施工现场安全监管中的应用研究[J]. 建筑技术开发, 2016, 43(8):82-83.

[11] WU I C, LU S R, HSIUNG B C. A BIM-based monitoring system for urban deep excavation projects[J]. Visualization in Engineering, 2015, 3(1):2.

[12] ALIZADEHSALEHI S, ASNAFI M, YITMEN I, et al. UAS-BIM based real-time hazard identification and safety monitoring of construction projects[C]//Nordic Conference on Construction Economics and Organization, June 13-14, 2017, Göteborg, Sweden. [S.l.: s.n.], 2017.

[13] 郑夏翊, 李惠萍, 骆王成,等. 物联网技术在项目质量安全管理中的应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2013, 5(2):105-110.

[14] SANG P D, JUN L I, LIU X F, et al. Feasibility study on dynamic monitoring of construction project cost based on BIM[J]. Value Engineering, 2013.

[15] BRADLEY A, LI H, LARK R, et al. BIM for infrastructure: an overall review and constructor perspective[J]. Automation in Construction, 2016, 71:139-152.

[16] 王苏. BIM 技术在全过程工程造价管理中的应用解析[J]. 工程技术：引文版, 2015(12):159-160.

人民邮电出版社出版

基于 CNN 与 ASP 的核电变压器双向故障诊断模型及可视化分析

侯权，谢文杰

（中国广核电力股份有限公司信息技术中心，广东 深圳 518000）

摘　要：针对现存电力变压器故障诊断系统存在获取故障信息不全、实时性低以及容错性差等缺点，提出一种基于卷积神经网络和回答集程序的变压器双向故障诊断新方法。首先利用高分子膜将充油变压器油中溶解气体分离；然后分别使用卷积神经网络和回答集程序对特征气体进行分析，并得出初步诊断结果；最后通过逻辑程序 ASP 构建最优稳定匹配决策矩阵输出最终诊断结果。与单向方法相比，该诊断方法既有较强的学习能力，又有很高的容错性和可扩展性，故障诊断更全面，模型推断能力更强。

关键词：变压器；故障诊断；卷积神经网络；回答集程序；最优稳定匹配

1　引言

1.1　研究背景

近年来，伴随着核电事业的蓬勃发展，核电厂对供电安全的要求越来越高。变压器是核电厂的重要组成部件，它将发电机发出的电进行升压到电网电压，然后并入电网。其正常运行直接关系到电网的安全与稳定，因此对变压器的安全监测显得尤为重要。为了快速、准确地找到变压器在运行过程中的突发问题，国内外的许多研究者一直致力于变压器的安全研究，并取得了显著的成果。虽然我国在变压器故障诊断方面起步较晚，但凭借着前人积累下来的经验和实践，在变压器故障诊断领域也取得了快速的进展和突破。

1.2　研究现状

目前各种人工智能[1]技术越来越多地应用到电力系统及其故障诊断中，如神经网络[2]、专家系统[3]、粗糙集理论[4]等。但单一的方法在故障诊断中面临很多问题，比如当样本数量多且空间分布复杂时，神经网络在训练时难以收敛；专家系统虽然可以有效地模拟专家决策过程，但如何获取完备的知识库一直是个瓶颈；粗糙集理论虽然可以刻画不精确、不一致、不完整信息，但其无法处理一些病态数据。

为了解决电力变压器在故障诊断过程中样本空间复杂及知识获取不完备的问题，本文提出利用卷积神经网络[5]和回答集程序[6]相结合，分别对特征气体分析，最后通过逻辑程序 ASP 构建最优稳定匹配[7]决策矩阵输出最终诊断结果，构建变压器双向故障诊断系统。该系统不仅学习能力强，而且具有较高的可扩展性和容错能力，诊断准确率也得到了提高。

1.3　主要工作

本文针对目前现有电力变压器故障诊断系统无法获取完备的知识库、样本数量多难以收敛等问题，提出了利用卷积神经网络和回答集程序分别对特征气体进行分析，最后通过逻辑程序 ASP 构建最优稳定匹配决策矩阵输出最终诊断结果，构建变压器双向故障诊断系统。其重要研究内容如下。

- 构建 ASP 知识库模型。原有三比值法存在一些问题，比如编码区间过于绝对化、对边界区域没有很好划分、编码不全等。在总结和对比前人对三比值法研究的基础上，将固定编码所对应的故障类型分类，并扩展编码，最终转换成对应 ASP 规则，形成 ASP 知识库。
- 构建卷积神经网络模型。为了减少网络复杂度及学习时间，采用一个卷积层和采样层进行组合。通过不同卷积核提取气体数据含量的不同特征，输出对应故障的概率。
- 建立基于 ASP 的最优稳定匹配求解方法。将上述两种方法得出的诊断结果进行匹配，建立完全或不完全偏好列表，然后采用 ASP 对其进行描述，获得最优稳定匹配，得出最终诊断结果。

人民邮电出版社出版

2 变压器故障诊断系统模块设计

本章主要介绍变压器故障诊断系统的模块设计，简要地说明了该系统中各个模块的主要内容，并结合其余模块，给出了变压器双向故障诊断系统的整个系统图。

2.1 运行环境

CNN-ASP 变压器双向故障诊断系统可以在 PC 机上运行，它所支持的软件是：DOS（3.0 及以上版本）和 Windows XP 以上系统版本。辅助开发工具是 NetBeans，辅助开发语言是 Java。

2.2 各部件功能介绍

（1）ASP 知识库

回答集程序（answer set programming，ASP）是一种声明性非常强的逻辑编程设计语言，它在语法上类似于传统逻辑编程，而在语义上则与单调逻辑推理十分相似，它是目前一种主流的非单调知识表示工具。ASP 的知识表达采用了头部、体部的形式，连接符为“:-”，体部表示条件，头部表示结论，这样的知识表达具有很好的修改性和可扩展性，给开发人员带来了极大的方便。

（2）事实库

事实库是一种用于存放某种具体事实、知识的信息库，它对现实世界进行定性、定量的描述。

（3）事实转换器

把事实转换成对应的 ASP 逻辑谓词和逻辑变量，用于构成 ASP 规则的体部。

（4）推理机

是 ASP 知识库中最重要的组成部件，用来控制、协调整个知识库系统。它会根据问题信息及知识库中的知识执行对问题求解。ASP 知识库系统采用正向推理，大大提高了推理的速度。

（5）GIS 手持终端

主要用于采集变压器的地理位置，在电脑终端的“厂区重要设备分布图”中显示。一旦变压器发生故障，PC 断将会显示报警信息，并给出具体的故障位置便于工作人员快速识别。

（6）CNN 仿真模型

卷积神经网络（convolutional neural network，CNN）是一个多层的非全连接的神经网络，每层都是一个变换，每种变换都是对输入数据的一种处理，是输入特征的另外一种特征表达。通过对特征气体的训练，最终输出故障类型及其权值。

2.3 数据库设计

数据库主要用于存放和记录用户信息、特征气体含量、采集时间等字段，可以有效地组织数据，并将数据方便地输入 ASP 知识库及 CNN 模型中，还可以根据用户的要求将数据从计算机中取出来，便于集中管理。本系统模型采用 MySQL 数据库，数据库的设计如图 1 所示。

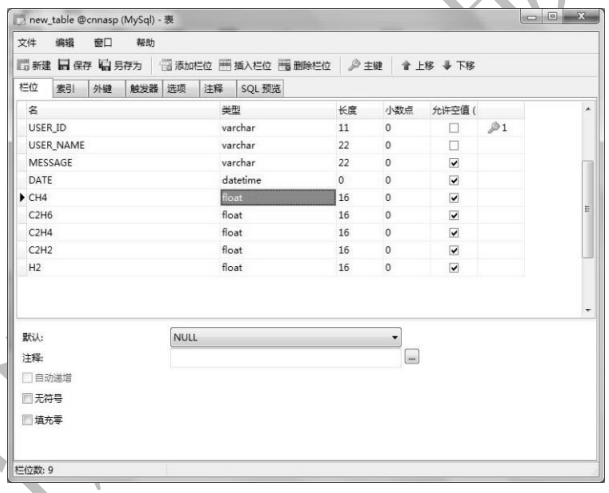


图 1 CNN-ASP 数据库设计

各字段及命名规则见表 1。

表 1 数据库命名规则

名称	类型	长度	命名规则
USER_ID	varchar	11	记录工作人员的员工号
USER_NAME	varchar	22	记录工作人员的姓名
MESSAGE	varchar	22	记录工作人员的邮箱
DATE	time	30	记录采集气体的时间
CH4	float	16	记录采集到的甲烷气体
C2H6	float	16	记录采集到的乙烷气体
C2H4	float	16	记录采集到的乙炔气体
C2H2	float	16	记录采集到的乙烯气体
H2	float	16	记录采集到的氢气气体

2.4 变压器双向故障诊断系统

变压器双向故障诊断系统如图 2 所示。

3 基于 CNN 与 ASP 的双向故障诊断系统

3.1 CNN 仿真模型工作原理

通过对比某变压器近 10 年来发生的故障信息，发现固定编码对应的故障类型有时会有所变化，主要是

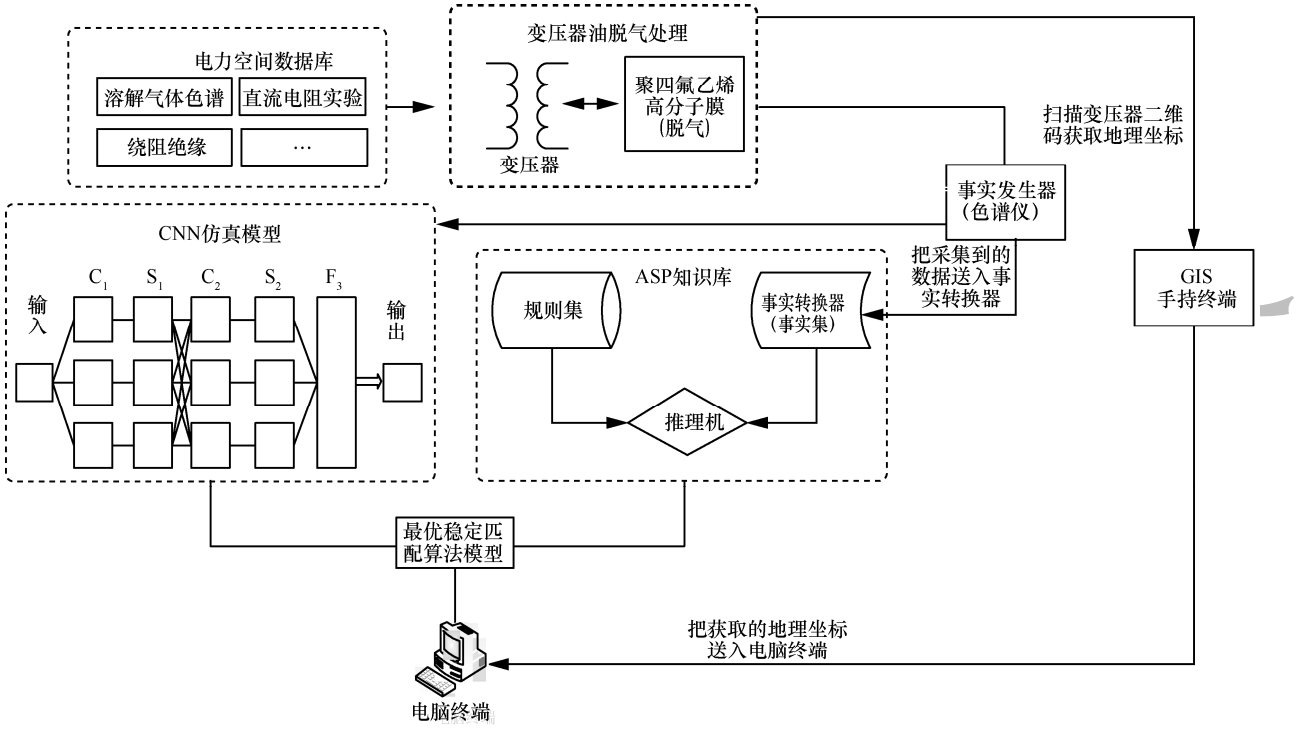


图 2　变压器双向故障诊断系统

因为现存变压器故障编码过于绝对化，因此 CNN 对

变压器故障类型的输出进一步扩展，CNN 仿真模型如图 3 所示。

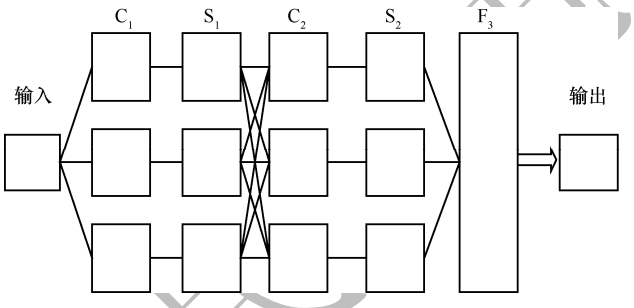


图 3　CNN 仿真模型

本 CNN 仿真模型包括输入层、多个卷积层 C、多个采样层 S、全连接层 F 以及输出层。其中，采集到的特征气体会根据系统设定的时间定时送入输入层；卷积层 C 会提取这些气体的特征，并输出；特征映射层 S 会根据采样层输出的特征值进行对应操作，最后通过全连接层对故障类型进行分类并送入输出层。输出层由有 1~n 个故障类型组成，每个故障类型具有自己的权值，即各个故障类型发生的概率。

3.2　ASP 知识库的构建

通过对临界值编码的研究与改进，对原三比值法[8-10]进行改进，使原三比值法更加完善，并对改进后的三比值编码分类，最后利用 ASP 规则对分类后的结果进行描述。ASP 知识库部分规则如下所示：

R_1:Nor_Old:-CHa(X), CHb(Y), CHc(Z), X=0, Y=0, Z=0.

R_2:Par_discharge:-CHa(X), CHb(Y), CHc(Z), X=0, Y=1, Z=0.

R_3:Low_Temp(0, 150):-CHa(X), CHb(Y), CHc(Z), X=0, Y=0, Z=1.

R_4:Low_Temp(150, 300):-CHa(X), CHb(Y), CHc(Z), X=0, Y=2, Z=0.

R_5:Mid_Temp(300, 700):-CHa(X), CHb(Y), CHc(Z), X=0, Y=2, Z=1.

…

ASP 知识库具有非常好的可扩展性，如有新的约束条件加入，无需改变系统模型，只需要往系统中加入新的规则即可。研究发现，编码 0-1-1[11]所在的空间区域是一个动态区域，极容易出现相邻编码区域的故障类型。通过搜集大量的历史数据，将把编码 0-1-0 和其相邻的 4 个空间编码放在一个三维坐标中，如图 4 所示。

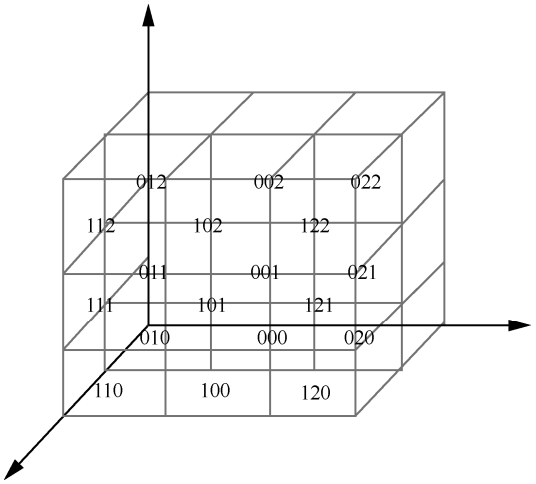


图 4　编码 011 在空间中的位置

从图 4 中可以清楚地发现，与编码 011 相邻的 4 个编码为 111、010、001、012，故障类型分别为电弧放电、局部放电、低温过热<150°、高温过热，即编码 011 所对应的故障类型可能为这 4 种中的一种。于是可以构建 ASP 规则：

L1：Elec_arc_discharge:-CHa(*X*), CHb(*Y*), CHc(*Z*), *X*=0, *Y*=1, *Z*=1；

L2：Par_discharge:-CHa(*X*), CHb(*Y*), CHc(*Z*), *X*=0, *Y*=1, *Z*=1；

L3：Low_Temp(0,150): -CHa(*X*), CHb(*Y*), CHc(*Z*), *X*=0, *Y*=1, *Z*=1；

L4：High_Temp(higher700):-CHa(*X*),CHb(*Y*), CHc(*Z*), *X*=0,*Y*=1, *Z*=1

通过搜集历史数据，并求各特征气体所占总气体含量的比重，4 种故障类型各抽取 10 组，通过可视化平台加以分析并说明这 4 种故障类型中各特征气体含量之间存在着较强的关系，如图 5 所示。

从这些数据中可以发现局部放电故障中氢气含量占到了氢烃总含量的 80%以上，而此时其余气体含量非常低，其中 C_2H_2 的含量在 3%以下；高温过热故障中含有大量的 C_2H_4，占氢烃总含量的 45%以上且 CH_4 的含量大于 H_2 的含量；低温过热中 H_2 和 CH_4 的含量之和占氢烃总含量的 50%以上，且两种气体含量相差在 7%以内；当编码为 011 时，若无上述特征则为电弧放电故障。于是，可以向临时库中添加以下规则：

Par_discharge:-Hydrogen(*H*), Acetylene(*A*), *H*≥80, *A*<3；

High_Temp(higher700):-Ethylene(*E*),Hydrogen(*H*), Methane(*M*),*E*>45,*M*>H；

Low_Temp(0,150):-Sum(*Q*,*H*,*M*),*Q*=*H*+*M*,*Q*>50,*P*=*H*-*M*,*P*>0,*P*<7；

Elec_arc_discharge:-not Par_discharge,not High_ Temp(higher700),not Low_Temp(0,150)

则临时库中的规则可以修改为：

L1： Elec_arc_discharge:-CHa(*X*),CHb(*Y*),CHc(*Z*), *X*=0,*Y*=1, *Z*=1, not Par_discharge, not High_ Temp (higher700), not Low_Temp(0,150)；

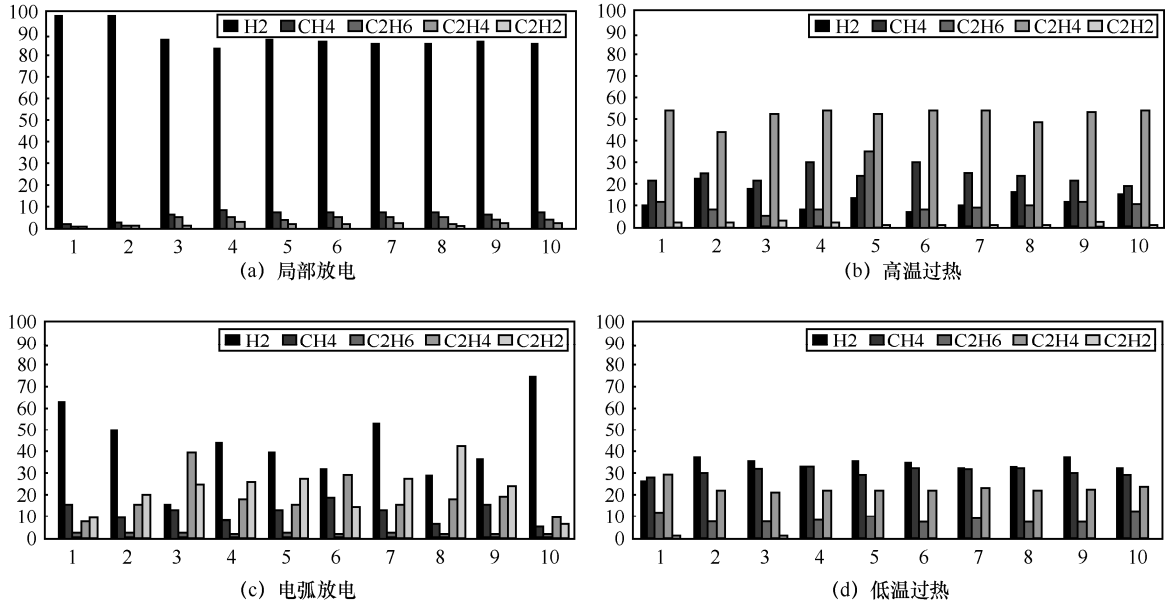


图 5　编码 011 各故障类型气体含量

L2：Par_discharge:-CHa(*X*),CHb(*Y*),CHc(*Z*), *X*=0, *Y*=1, *Z*=1, Hydrogen(*H*),Acetylene(*A*),*H*≥80,*A*<3；

L3：Low_Temp(0,150):-CHa(*X*),CHb(*Y*),CHc(*Z*),*X*=0, *Y*=1, *Z*=1, Sum(*Q*,*H*,*M*),*Q*=*H*+*M*,*Q*>50,*P*=*H*-*M*, *P*>0, *P*<7；

L4：High_Temp (higher700): -CHa(*X*), CHb(*Y*), CHc(*Z*), *X*=0, *Y*=1, *Z*=1, Ethylene(*E*), Hydrogen(*H*), Methane(*M*), *E*>45,*M*>*H*

修改完后的规则即可加入知识库中。

3.3 CNN-ASP 的最优稳定匹配

CNN 或 ASP 对于变压器故障诊断得出的诊断结果往往不止一种，无法确定具体的诊断结果。针对该问题，设计一种基于 ASP 的最优稳定匹配求解方法。首先根据双方诊断得出的结果来建立完全或不完全偏好列表，然后采用逻辑程序 ASP 对其进行编码描述，可获得最优稳定匹配。

3.3.1 问题描述

假定 ASP 求解得出的诊断结果集合 $B=\{b_1, b_2, \cdots, b_n\}$，CNN 求解得出的诊断结果集合 $S=\{s_1,s_2,\cdots, s_m\}$，每个 ASP 诊断结果只能搜索匹配一个 CNN 诊断结果，同样每个 CNN 诊断结果也只能和一个 ASP 诊断结果进行匹配，双方均按照感知吸引力大小分别为对方建立一个偏好排序，根据这些偏好关系找到一个最优的稳定匹配对 $M=\{<b_i,s_j>\}$，要求双方尽量匹配到最希望的故障类型。

3.3.2 建立偏好列表

ASP 诊断结果对 CNN 诊断结果的评估：每个 ASP 诊断结果都有一组选择标准，CNN 诊断结果给这些选择标准提供相应的标准值，ASP 诊断结果按照选择标准的重要程度分配其不同的权重。根据这些数字，ASP 诊断结果 b_i 对 CNN 诊断结果 s_j 的感知吸引力大小为：

$$\begin{aligned} &s_{ij}=\sum_{c\in C_{bi}} w_{ci}\gamma_{cj}, \forall i\in B, \forall j\in S \\ &w_{ci}\geqslant 0, \forall c\in C_{bi}, \sum_{c\in C_{bi}} w_{ci}=1 \end{aligned} \tag{1}$$

其中，C_{bi} 为 ASP 诊断结果的选择标准，γ_{cj} 为 CNN 诊断结果提供的选择标准值，w_{ci} 为 ASP 诊断结果分配给 CNN 诊断结果选择标准属性的权重，s_{ij} 为 ASP 诊断结果 b_i 对 CNN 诊断结果 s_j 的感知吸引力。

CNN 诊断结果对 ASP 诊断结果的评估：每个 CNN 诊断结果都有一组选择标准，ASP 诊断结果给这些选择标准提供相应的标准值，CNN 诊断结果按照选择标准的重要程度分配其不同的权重。根据这些数字，CNN 诊断结果 s_j 对 ASP 诊断结果 b_i 的感知吸引力大小为：

$$\begin{aligned} &b_{ji}=\sum_{c\in C_{sj}} w_{cj}\eta_{ci}, \forall j\in S, \forall i\in B \\ &w_{cj}\geqslant 0, \forall c\in C_{sj}, \sum_{c\in Csj} w_{cj}=1 \end{aligned} \tag{2}$$

其中，C_{sj} 为 CNN 诊断结果的选择标准，η_{ci} 为 ASP 诊断结果提供的选择标准值，w_{cj} 为 CNN 诊断结果分配给 ASP 诊断结果选择标准属性的权重。b_{ji} 为 CNN 诊断结果 s_j 对 ASP 诊断结果 b_i 的感知吸引力。

根据式（1）和式（2）建立如下联合矩阵：

$$A_{b,s}=\begin{array}{c} \\ \text{ASP诊断结果} \\ b_2 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{array}\begin{array}{c} \text{CNN诊断结果} \\ \begin{array}{cccc} s_1 & s_2 & \cdots & s_n \end{array} \\ \begin{pmatrix} s_{11},b_{11} & s_{12},b_{21} & \cdots & s_{1n},b_{n1} \\ s_{21},b_{12} & s_{22},b_{22} & \cdots & s_{2n},b_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m1},b_{1m} & s_{m2},b_{2m} & \cdots & s_{mn},b_{nm} \end{pmatrix} \end{array} \tag{3}$$

每个 ASP 诊断结果和 CNN 诊断结果将联合矩阵中的感知吸引力从大到小排序，形成的有序对被称为完全偏好列表，即最优匹配结果。

3.3.3 案例及可视化分析

例如，某变压器预警系统发出报警，提示有故障发生。工作人员查看采集到的数据，数据如图 6 所示。

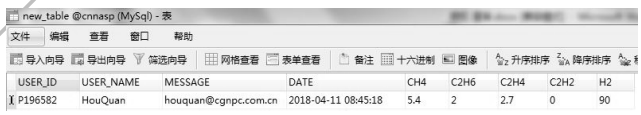


图 6 某变压器数据采集

CNN 分析得出诊断结果集 B={局部放电（40%），高温过热（25%），电弧放电（10%），低温过热（25%）}；ASP 知识库分析得出诊断结果集 S={局部放电，高温过热，电弧放电，低温过热}。通过分析以往历史数据，为每一个诊断结果设置权值，然后构建感知吸引力矩阵得出联合矩阵，见表 2。

表 2 联合矩阵 $A_{b,s}$

CNN	ASP			
	1	2	3	4
1	4.10,3.55	3.15,2.65	2.75,3.00	4.25,2.85
2	3.85,2.90	3.80,2.80	2.40,3.30	4.10,2.35
3	3.00,3.70	3.60,3.10	3.10,3.60	4.30,3.30
4	3.20,3.25	4.15,3.15	3.40,2.55	3.90,3.15

可视化平台分析如图 7 所示。

人民邮电出版社出版

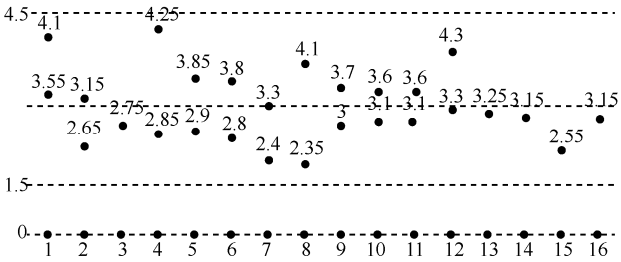


图 7　变压器故障类型散点图

由可视化图可以直观看到，信任度全部在 3 以上，且信任度区间最小的列是第一列，即 CNN 与 ASP 知识库均认为故障类型为局部放电，经工作人员确认，实际故障类型确实为局部放电。模拟器最终输出结果如图 8 所示。

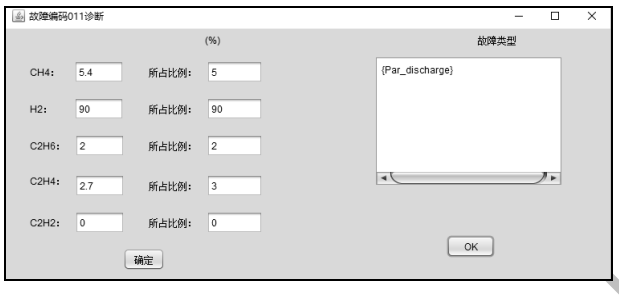


图 8　故障类型诊断

4　结束语

本文对卷积神经网络和逻辑程序 ASP 在电力变压器故障诊断中的应用进行了初步研究。采用了 CNN 与 ASP 两种方法相结合的双向变压器故障诊断方法，既弥补了神经网络在大量样本情况下难以收敛的不足，又解决了知识推理与知识表示在诊断过程中无法深度学习的问题。通过 ASP 程序构建最优稳定匹配矩阵，输出最优匹配结果。主要优点如下。

- 极强的通用性。不仅适用于电力变压器故障诊断，同样适用于电力系统其余重要部件的故障诊断。
- 良好的可扩展性。ASP 知识库具有良好的可扩展性，当有新的约束条件加入时，无需重新构建原有模型，只需加入新的 ASP 规则即可。
- 容错性高。采用基于 CNN 与 ASP 的双向故障诊断方法，弥补了各方法的不足，保证在一个方法失效的情况下系统仍可继续运行。

基于 CNN 与 ASP 的变压器双向故障诊断方法将人工神经网络与知识表示和知识推理相结合，在电力系统故障诊断中具有重要意义，为人工智能领域开辟新的领域。

参考文献：

[1] 廖志伟, 孙雅明, 叶青华. 人工智能技术在电力系统故障诊断中应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(6): 71-79.

[2] 杨启平, 薛五德, 蓝之达. 基于人工神经网络的变压器故障诊断[J]. 变压器, 2000, 37(3): 33-36.

[3] MA D, ZHANG W, YAO W. Establish expert system of transformer fault diagnosis based on dissolved gas in oil[C]//2013 International Conference on Information Science and Cloud Computing Companion(ISCC-C), Dec 7-8, 2013, Guangzhou, China. Piscataway: IEEE Press, 2013: 681-685.

[4] 周炜, 周创明, 史朝辉, 等. 粗糙集理论及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015: 59-65.

[5] 贾京龙, 余涛, 吴子杰, 等. 基于卷积神经网络的变压器故障诊断方法[J]. 电测与仪表, 2017, 54(13): 62-67.

[6] 赵岭忠, 王雪松, 钱俊彦, 等. 从经典逻辑知识构建 ASP 知识库的新方法[J]. 计算机应用, 2010, 30(11).

[7] GALE D, SHAPLEY L S. College admissions and the stability of marriage[J]. American Mathematical Monthly, 1962, 69(1): 9-15.

[8] MA H, LI Z, JU P, et al. Diagnosis of power transformer faults on fuzzy three-ratio method[C]//2005 IEEE International Power Engineering Conference, Nov 29-Dec 2, 2005, Singapore. Piscataway: IEEE Press, 2005: 1-456.

[9] 吴瑾, 徐康健. 变压器油中溶解气体三比值法应用问题的探讨[J]. 陕西电力, 2011, 39(3): 66-68.

[10] 姬铁兰. 用三比值法判断变压器运行中的故障类型[J]. 山西焦煤科技, 2004(1): 1-2.

[11] 宋斌, 刘志雄, 李恩文, 等. DGA 中三比值缺码研究初探[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(12): 60-65.

人民邮电出版社出版

基于 GIS 平台的光缆在线智能监测及故障定位系统

雷焕宇，陶国庆
（国网湖北省电力公司襄阳供电公司信息通信分公司，湖北 襄阳 441002）

摘　要：在计算机技术不断革新、互联网技术日益完善以及光缆通信需求日益增大等因素的共同作用下，地理信息系统（GIS）被广泛使用于对地理分布数据的采集、储存、管理、运算、分析、显示以及描述等工作中。而光缆技术作为我国实现网络通信的重要工具，在提升通信质量和通信效率等方面起到了极为重要的作用。但是，受光缆覆盖面积广、故障发生率高以及故障点定位难度大等因素的影响，在运用光缆通信技术的过程中，依然存在着很多亟待解决的问题。在参考前人研究结果的基础上，详细地阐述了以 GIS 技术为基础的通信光缆故障定位设计，并根据笔者多年的工作经验，对 GIS 系统在光缆故障监测中的定位功能和保障功能进行了简单的介绍，以供各位读者参考。

关键词：GIS 技术；通信光缆；故障定位；保障系统

1　引言

在光缆传输距离远、通信容量大以及覆盖范围广等优势的推动下，光通信技术成为当前我国使用最为广泛和发展最为完善的通信网络技术之一，在实现高速通信、远程通信等核心技术方面起到了十分重要的作用。然而，随着城市化进程的不断加快、国民经济水平的日益提高以及民众对通信质量和通信效率的要求不断提升，传统光缆故障点监测及保障定位系统中存在的弊端也不断凸显出来，传统光缆故障点监测及保障定位系统很难有效地满足我国通信事业发展的需要。例如，在以 OTDR（optical time domain reflectometer，光时域反射仪）等仪器组成的传统的光缆智能监测系统中，普遍存在着监测设备功能单一、监测结果准确性不高以及故障点定位不准确等问题，这些问题的存在严重影响了光缆信号的传输质量和传输效率。GIS（geographic information system，地学信息系统）是在计算机硬、软件系统支持下，对整个或部分地球表面空间中的有关地理分布数据进行采集、储存、管理、运算、分析、显示和描述的空间信息系统。因此，研究 GIS 平台的光缆在线智能监测及故障定位系统具有十分重要的意义。

2　光缆故障点对光缆维护的重要性

光缆作为电力通信的基础，具有通信容量大、传输距离长、受电磁干扰影响低、无电磁漏洞、体积小、重量轻以及保密性能强等优点，适用于中小型的容量系统及超大的传输系统，被广泛用于电力系统内的通信传输中。但是在光缆通信的应用实践中，存在如下缺点：一是光缆的敷设方式多为架空和地埋两种，所处地理环境复杂，光纤本身比较脆弱，很容易在外界因素的干扰下发生故障；二是由于对光缆网络进行铺设时，有大量的盘线产生，一旦发生故障，很难及时地寻找出故障的定位点。此外，电力线路通常会在 50 m 左右的位置设置一个光缆线路杆点，而在杆点位置发生故障的频率又相对较高[1]。因此，对光缆故障点进行有效的监测和维护对电力企业十分重要。

3　以 GIS 技术为基础的通信光缆故障定位设计

3.1　设计思想与原则

将 GIS 技术运用于光缆故障监测和定位工作中，可以有效地实现地图信息数字化、系统信息集中化以及通信网络管理自动化等功能。此项技术的运用，需要用到中间服务器将光缆通信网络的各项业务模块联系在一起，其目的是为了增强监测结果的及时性、准确性以及全面性。此外，为了对监测到的数据信息进行有效的收集、整理、分类和储存，本监测系统还用到了管理信息系统（management information system，MIS），其在很大程度上提升了对光缆故障点进行精准定位的速度，为人们处理光缆通信网络中存在的问题

本资料由电子出版社出版

提供了充足的时间。

3.2 开发方法与软硬件环境

目前，主要使用独立开发、单纯二次开发以及集成式二次开发等方式对 GIS 的功能进行开发，其中，集成式二次开发方法具有可以运用可视化软件编程的功能，为人们在可视化条件下对光缆故障点进行监测和定位创造了十分有利的条件。目前我国市场上应用最为广泛的地理信息系统硬件主要包括计算机主机、信息输出设备、数据存储设备、数据输出设备以及数据通信设备 5 个部分，系统组成软件则有系数据库、统计分析软件以及绘图软件 3 个部分。这些硬件设施和软件设施的使用有效地简化了光缆故障点的监测流程和定位时间[2]。

3.3 主要开发思路

为了确保 GIS 技术在对光缆故障点进行监测和定位的及时性，笔者在对该监测系统进行设计时，需要确保其具备以下 3 个功能：第一，能够对光缆通信网络中出现故障的位置进行准确的定位；第二，必须在定杆点预留足够长的光缆线；第三，能够全面、真实地反映故障点周围的地理环境和交通情况。因此，在设计以 GIS 技术为基础的通信光缆故障点监测系统时，需要将简化地图结构、可对图像信息进行灵活操作以及增强可视化的功能等作为该监测系统的主要开发思路。

4 GIS 平台的光缆在线智能监测及故障定位系统简介

4.1 GIS 监测系统的通信光缆故障定位功能

GIS 监测系统是在地理科学、计算机技术、遥感技术以及信息技术等基础上建立起来的监测系统，其工作原理为：运用其算计硬件和软件设施对地理数据信息进行获取、储存、分析以及显示，不仅能够处理数量庞大、结构复杂的数据信息，还能对数据之间存在的空间关系进行计算和控制。以 GIS 为基础的通信光缆故障点监测定位系统，可以快速、准确地获取光缆故障点的故障信息，并同时提供故障点范围内的地理信息、空间结构以及是否有预留光缆线和光缆线长度等信息，有效地增强了工作人员处理光缆故障点的效率和质量。

GIS 监测系统中各功能的实现还必须结合 OTDR（optical time-domain reflectometer，光时域反射仪）使用，这主要是因为将光时域反射仪运用于该监测系统中，就能够准确地测量出故障点的距离。其工作原理为：首先，从光线的输入端口注入内部激光生成的光脉冲；其次，运用光接接收光纤产生的后散射功率 P_R 和菲涅耳反射光功率 P_F。并根据计算式 $P_R=P_0\mathrm{sak}(V\mathrm{g}T/2\times10^{-2d/10})$ 和 $P_F=P_0F\mathrm{k}$（$V\mathrm{g}T/2\times10^{-2d/10}$）准确地计算出光纤故障点的长度[3]。

在计算出通信光缆的故障点距离之后，GIS 会根据测得的长度数据，从自身的数据库中快速地搜索和匹配相关的数据信息，并通过该监测系统的计算功能，将故障点周围的地形图、区域建筑物、故障发生的原因、故障点的经纬度以及故障点离监测站的实际距离的信息显示在屏幕之上，使维修人员可以及时准确地制定维修计划，并开展有效的维修工作。由此可见，基于 GIS 的光缆故障定位系统，不但能够精准地对光缆系统中发生故障的位置进行定位，同时还能全面地向维修人员提供准确的参考依据，从而增强了光缆故障的维修效率和维修质量。

4.2 基于 GIS 的通信光缆故障保障功能

基于 GIS 的通信光缆故障保障系统功能需要结合准确的数字化地图和全面的数据库信息才能实现，因此，在建立该系统的保障功能之初，必须对录入后的图形数据进行矢量化处理、校正和建立拓扑关系、建立空间数据与数据属性之间的联系，可从以下几个方面加以实现。第一，在建立 GIS 通信光缆故障保障系统的过程中，使用关系数据库对相关的数据信息进行存储和管理，并将无缝数据库管理模式 SQL Server 作为该系统组织数据信息的方式，从而增强该系统监测的数据信息统一性、安全性以及共享性；第二，对数据库中的空间数据库、属性数据库等分别进行设计，以减少系统处理不同的数据信息的独立性和及时性；第三，对 GIS 中的地图元素进行及时、有效的更新，以便于增强定位结果的准确性；第四，及时添加、删减以及更新空间数据库和属性数据库，以便于增强数据库信息的全面性和准确性[4]。

对于以 GIS 为基础的故障保障系统的功能要求而言，保障系统中需要包含地图管理、数据管理、通信光缆管理以及空间分析 4 个主要模块的功能。其中，地图管理模块的作用是编辑基础图形、地图查询、图层管理、格式转换以及图形输出等；数据管理模块的功能是对数据库的信息进行管理、获取数据信息以及管理用户等；通信光缆管理模块的功能主要是对光缆的数据进行管理、查询统计和以及故障定位，同时统

人民邮电出版社

计图表、打印生成的报表；空间分析模块的功能则是提供故障辅助决策和空间分析，收集网络、缓冲区域以及几何分析领域的相关结果，并运用相应的拓扑关系选择最佳的维修路径。通过上述 4 个模块的相互作用，GIS 定位光缆故障点的及时性和准确性得到了有效的提升，有效地推动了光缆故障点抢修工作的开展。例如，使用该系统，可以对车辆运行震动、机械施工造成衰减以及自然灾害发生等因素对光缆运行质量和运行效率所造成的影响进行有效分析，并制定有效的预防措施，从而降低通信光缆网络发生故障的频率[5]。此外，由于光缆故障的维修大多是在高空或地下作业，如果仅采取逐级杆塔巡视、现场确认的方式查找故障点，不仅不能满足快速修复光缆故障点的要求，同时还会增大维修人员的工作量，从而危及通信光缆网络安全、稳定的运行。

5 结束语

通过上述分析可以发现，基于 GIS 平台的光缆在线智能监测及故障定位系统具有监测范围广、定位准确以及操作简便等优势，在提升光缆故障点维修质量、增强通信光缆网络通信运维工作效率等方面都起到了十分重要的作用。随着光缆维护工作人员业务水平的不断提高、借助 GIS 监测系统在光缆检测平台的应用不断深入，完善相关工作流程和管理制度，不断总结和积累工作经验，积极完善系统间的相互融合，将为我国电力通信事业的不断发展和完善提供可靠的保障。

参考文献：

[1] 周松, 邢友松, 钱金辉. 基于 GIS 的通信光缆在线监测系统及其故障点定位方法: CN105591691A[P]. 2016.

[2] 张娜. 基于GIS 和小波变换的光缆故障定位方法研究[J]. 光通信技术, 2016, 40(10): 23-25.

[3] 汪晗. 浙江苍南：电力通信光缆在线监测与故障智能定位系统获成效[J]. 中国电业(技术版), 2013(5): 78.

[4] 王亮. 基于 GIS 的光纤网络故障实时监测系统的设计与研究[D]. 广州：暨南大学, 2014.

[5] 杨传旭, 蒋渊. 建设基于配网 GIS 的电力通信光缆自动监测管理系统的探讨[J]. 华东科技：学术版, 2013(12): 279-280.

人民邮电出版社出版

基于 GIS 平台的无人机输变电线路智能巡检的航拍规划仿真研究

梁翀，郭庆

（安徽继远软件有限公司，安徽 合肥 230088）

摘　要：提出一种基于三维 GIS 平台来虚拟现实，用三维模拟空间视角相机模拟无人机云台相机进行输变电线路巡检的算法。针对目前热门的无人机巡检技术进行仿真模拟，从而可以使得无人机在未实际飞行的情况下根据设定的航迹进行模拟飞行，能够让使用者对于规划的巡检效果有直观的参照并根据仿真结果调整相应参数进行巡检规划，同时提供完善的辅助规划手段，从而减少误操作率，提高拍摄精度和效率，为输变电业务的正常运行提供智能化保障。

关键词：无人机巡检；飞行仿真；模拟航拍

1　引言

无人机航拍的影像具有高清晰、大比例尺、小面积、高现势性的特点，且无人机操作方便，起降限制较小，稳定性高，安全性好，转场也非常容易[1]。如今在电力行业，无人机航拍凭借以上特点被广泛应用于输电线路巡检业务领域[2]。获得的航拍影像经由后台算法识别，实现对输电线路本体缺陷和通道异常行为的自动识别，为电力的稳定运行提供重要保障手段。如自动识别输电线路上的鸟巢、异物悬挂行为和可能出现的绝缘子自爆情况；自动识别输电线路杆塔上出现的螺栓缺销子、防震锤丢失、均压环变形等小金具缺陷情况；自动识别输电线路通道中的导线断股以及杆塔连接处的导线断股故障；能够自动识别输电线路通道中出现烟雾、山火等异常情况；自动识别输电线路通道中的塔吊和吊车，对违规操作以及可能威胁输电线路安全的通道中异常施工行为进行识别报警。

无人机在未实际飞行的情况下，模拟无人机搭载的云台相机在三维 GIS 平台上进行输电线路等的模拟航拍，由反馈结果来优化相关航拍参数，从而获得较好的航拍模拟结果[3]。无人机模拟航拍须在搭建的三维 GIS 平台的基础上，建立无人机三维模型，并针对无人机航拍功能进行规划与仿真，达到在虚拟现实中模拟航拍的效果，并能根据模拟拍摄内容调整无人机在航拍实际飞行的飞行航迹、云台控制、摄像机参数等，规划出更合理的飞行控制操作，提高实际无人机航拍的飞行效率与精度，同时对航拍效果有一个预览[4]。

2　无人机三维模型建模

目前大疆在航拍无人机方面占有极大的市场份额，大疆无人机由飞行器和云台组成，其中云台具有修正俯仰、侧倾、水平转向 3 个轴线的动作，让飞行器姿态变化不会影响到相机画面的平稳度。并且其借助 GPS 和智能飞行控制系统，飞行器不会迷失方向，随时可以实现智能返航。同时，用户可以用移动终端上的 App 对无人机进行飞行控制，包括飞行姿态、云台角度、相机焦距等参数调整，借助内部的高清图传系统，用户还可以预览实时拍摄图像，并根据实时图像进行更精确的参数调整来获取更加准确的效果。

本文以大疆无人机 Phantom 3 为原型，用 3ds Max 建立所用四旋翼无人机三维模型，格式为 obj 格式，如图 1 所示。

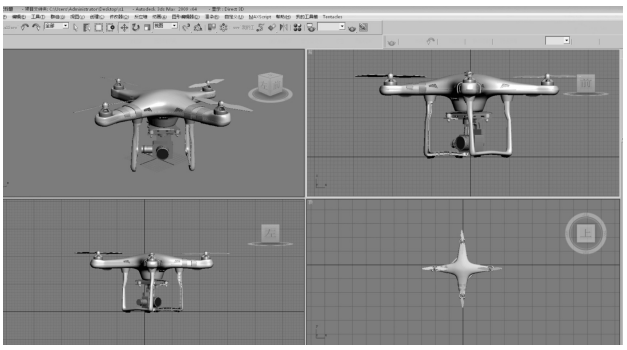


图 1　实验所用无人机三维模型（大疆 Phantom 3）

3 无人机云台相机仿真拍摄内容的获取

3.1 通信模块

本文使用 C/S 架构，服务器端发送无人机的飞行航迹、云台角度、相机焦距参数等，客户端通过解析报文，生成和更新无人机飞行目标显示。数据交互接口采用 UDP 方式，报文协议见表 1。

表 1 UDP 报文协议

数据类型	数据标识	数据注释
double	longitude	无人机经度
double	latitude	无人机纬度
double	height	无人机高度
int	time	飞行时间
int	fuyangAngle	无人机云台俯仰角度
int	shuipingAngle	无人机云台水平角度
int	focus	云台相机焦距

3.2 无人机三维模型视景操作

根据服务器端的航迹信息，在三维 GIS 平台上渲染出无人机三维模型，在正常飞行模式下，画面上显示无人机飞行状态，包括航迹绘制、视角切换（全景视角、自由视角、跟随视角）、机头位置调整（水平 360°）等功能模块。

（1）航迹绘制

显示无人机模型与地面的垂线以及尾迹，同时还可以设置阴影以及阴影的透明度，使用户能够更直观地观察无人机飞行，便于追踪当前无人机模型目标的位置，从而用户能够做出更加准确的判断，进而提高操作的准确性[5-6]。

（2）视角切换

在全景视角、自由视角、跟随视角 3 个视角中可以自由切换，让用户有更高的观察自由度，并针对关注的重点来选择相应的视角。其中全景视角即全局俯视视角，观察范围比较广；跟随视角即第一人称视角，画面焦点始终是选定的无人机模型，可以通过鼠标来控制观察角度；自由视角即第三人称视角，可以通过键盘 w、s、a、d 来控制相机前后左右移动，通过键盘 c、v 来控制相机的高度，通过鼠标来控制观察角度。

（3）无人机模型选定

本文可同时模拟仿真多架无人机模型，并可选择显示当前选定无人机模型，实现模型之间的切换。

3.3 无人机航拍模拟仿真

实际情况中，无人机在飞行过程中，其自带的云台相机都在进行拍摄，并生成航拍视频图像数据。本文通过建立虚拟的三维 GIS 平台，将三维虚拟空间中的视角相机位置与角度变换为无人机的云台相机的位置与角度，这样系统中显示的画面就模拟为无人机模型云台相机的航拍画面。通过此技术，在实际应用中，即使在无人机没有实际飞行的情况下，只需要建立飞行范围的三维 GIS 平台，再根据规划的航迹与模拟飞行中的参数控制（无人机飞行位置的经纬高、摄像机角度、相机焦距），就可以模拟出无人机实际飞行和其拍下的画面，提高操作的效率和准确度。

目前的大疆无人机云台都有俯仰、侧倾、水平三轴转动的功能，但是在本文的虚拟现实中，无人机不会出现因为天气、风向等引起的姿态影响，所以可以忽略侧倾轴线的转动，故在模拟航拍的过程中，只针对云台相机的俯仰角度和水平转动角度进行调整。

本文航拍模拟仿真的算法描述如下[7]：

（1）无人机根据规划好的航迹在三维 GIS 平台上进行飞行；

（2）将三维虚拟空间的相机位置移动到无人机云台位置（使相机位置与无人机位置相等然后绑定），初始角度为垂直 90° 向下，其中位置由经度、纬度、高度确定；

（3）调整相机参数，用户可以在飞行的过程中自行调整相机的俯仰角度、水平角度、焦距（其中焦距用视角远近来模拟放大缩小）来得到符合要求的结果；

（4）将飞行中的各项参数（无人机飞行位置、云台相机俯仰角度、云台相机水平角度、相机焦距）进行保存，生成飞行记录文件，如图 2 所示。



图 2 飞行记录文件

算法流程如图 3 所示。

4 基于模拟拍摄内容的无人机参数调整

本文还添加了飞行记录重演功能，利用文件系统存放相应的飞行记录文件，根据重演开始时间和结束

水电水利出版社

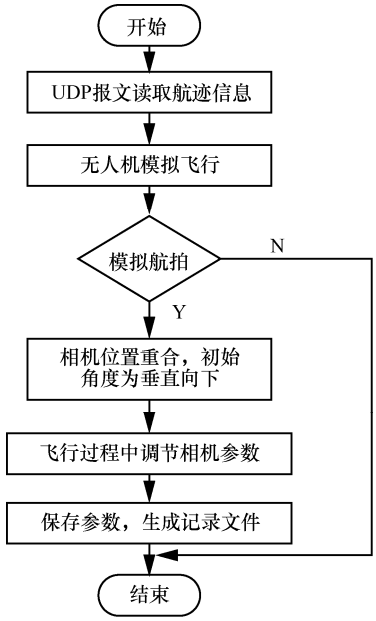


图 3　航拍模拟算法流程

时间来读取记录文件，从而进行飞行记录的回放。通过模拟航拍与飞行记录重演两个功能相结合，进而可以获取模拟航拍的视频。

用户通过获取模拟航拍的拍摄内容，对其中不符合要求的内容通过对无人机飞行位置（经度、纬度、高度）、云台相机角度（俯仰角度和水平角度）、相机焦距等参数的修改进行调整。具体算法描述如下：

（1）根据上文中得到的飞行记录文件进行飞行记录重演，得到模拟航拍视频内容；

（2）对视频内容进行解析，将无人机每一个点迹都对应一个无人机云台相机参数，包括相机角度（俯仰角度、水平角度）、相机焦距等，格式见表 2。

表 2　拍摄内容解析文件格式

点迹位置	相机俯仰角/度	相机水平角/度	相机焦距
(x_1,y_1,z_1)	α_1	β_1	f_1
(x_2,y_2,z_2)	α_2	β_2	f_2
(x_3,y_3,z_3)	α_3	β_3	f_3
...	...	...	...

（1）对视频内容进行评价，对不符合要求的视频帧进行选定；

（2）对选定的内容进行参数调整，包括航迹重新规划（无人机位置调整）、相机角度调整、焦距调整，生成新的飞行记录文件；

（3）将新的飞行记录文件转化为模拟航拍视频，如果仍有不符合要求的内容，再重复步骤（2）、（3），直到得到符合要求的模拟航拍视频。

算法流程如图 4 所示。

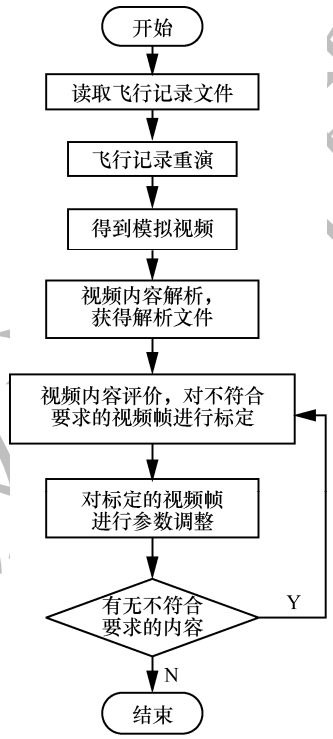


图 4　基于模拟拍摄内容的无人机参数调整算法流程

5　实验结果与结论

本文提出了利用三维空间的视角相机来模拟无人机搭载的云台相机进行模拟航拍的算法。通过该技术可以使得无人机在未实际飞行的情况下，只需建立感兴趣区域的空间来进行虚拟现实，用无人机三维模型在三维 GIS 平台中根据设定的航迹进行模拟飞行，同时进行模拟航拍，在飞行的过程中实时调整云台相机的一些参数，最后生成飞行记录文件，记录文件里的参数包括无人机飞行点迹坐标、云台相机角度（俯仰角度和水平角度）、相机焦距。同时本文还提出了基于模拟拍摄内容的无人机参数调整算法，根据对模拟航拍飞行生成的飞行记录文件进行飞行记录重演来获取模拟航拍视频，对视频内容进行评价，对不符合要求的进行反馈，从而获得较好的航拍模拟结果。下面是本文算法的一个实验结果。

人民邮电出版社

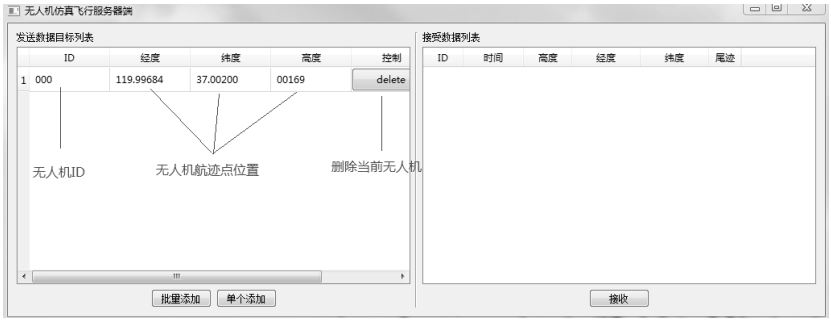


图 5　服务器端发送数据



图 6　无人机三维模型仿真飞行结果

服务器端发送无人机飞行数据如图 5 所示。

这时，无人机模型在三维 GIS 平台中渲染出来，开始仿真飞行，如图 6 所示。

点击“模拟航拍”选项，界面显示模拟航拍结果。用户可以在模拟航拍界面中调整云台相机的俯仰角度和水平角度还有焦距，获取满意的航拍效果，从而可以使得用户在无人机未实际飞行的情况下就能够对于规划的航拍效果有个直观的参照，可以脱离无人机电量、用户操作熟练程度、天气等因素的影响，同时提供完善的辅助规划手段，修改相应的无人机参数，包括无人机航迹位置、相机角度、相机焦距等，从而减少误操作率，提高拍摄精度和效率，显著改善航拍效果，实验结果良好。

参考文献：

[1] 江斌. 小型四旋翼低空无人飞行器综合设计[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.

[2] 应国虎. 试论航拍影像的审美特征与美学价值[J]. 当代电影, 2014(12): 116-119.

[3] GRGER G, PLMER L. Topology of surfaces modelling bridges and tunnels in 3D-GIS[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2011, 35(3): 208-216.

[4] 邹湘军, 孙健, 何汉武, 等. 虚拟现实技术的演变发展与展望[J].系统仿真学报, 2004, 16(9): 1905-1909.

[5] 李鲁群, 李成名. 服务于 PDA 的矢量数据分块存储数据结构的研究[J]. 测绘学报, 2002, 31(2): 170-174.

[6] 张山山, 刘文熙. 三维地理信息系统矢量数据组织[J]. 西南交通大学学报, 2000, 35(5): 505-508.

[7] 郭天太. 基于 VR 的虚拟测试技术及其应用基础研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005: 13-15.

基于 Revit 平台针对变电工程的 BIM 族库管理系统分析搭建

周昊天
（上海电力设计院有限公司，上海 200025）

摘　要：在使用 Autodesk Revit 软件作为变电工程 BIM 设计平台时，为了高效且安全地管理标准化设备模型资源，提高设计效率，通过分析变电工程方面设备的特性及现有数字化标准，在搭建架构功能过程中，结合 Revit API 提供的操作关键信息的功能，提出针对电气数字化设计通用信息管理方法，采用 API 提供的外部事务提升平台可用性，调用了文件传输协议与数据库接口和中心服务器通信，在局域网环境下搭建企业私有族库平台，并分析了 API 与平台运行效率的关系。

关键词：BIM；Revit 二次开发；API；族库管理系统；变电工程

1　引言

1.1　电气数字化设计状况

BIM（building information modeling）以三维数字化为基础，集成工程项目各种相关信息的数据模型，涉及整个项目的全生命周期，涵盖规划、设计、施工以及运维整个过程。目前 BIM 技术在建筑结构设计、建筑能耗分析、工程设备管理和指导施工等专业方面已获得一定研究实用成果[1]。然而针对变电工程 BIM 的设计虽在大力推广中，但应用研究依然较少。目前已出现一些第三方模型构建族库管理软件，但工程阶段的覆盖面小、数据不完整、标准不一、来源不明，在全面、一致、安全性等方面难以满足变电 BIM 设计要求。因此企业需要通过建立私有云的方式，完全掌握自己 BIM 数字化基础模型在可研初设、施工、竣工、运维各阶段的信息，统一管理，提升效率。

1.2　技术介绍

本文以 Revit 作为主要 BIM 软件，将采用 Revit2016 版本 API 进行开发，通过分析变电在 BIM 方面专业及设备特性与目前已有数字化标准，阐述了族库平台功能架构的基本分析，开发流程和搭建过程，并提出利用 Revit API 将 Revit 中 rfa 族文件的模型信息进行提取，产生结构化表文件，以“型”“表”分离方式储存管理设备的方式。且利用数据库记录，结构化的表数据和库文件使得设计管理人员能够快速操作管理模型信息。并且探究了非模态窗口与 Revit 提供的事务功能在平台界面操作的便利性方面的贡献，平台所采用 API 的性能影响等，以提高设计效率。在 Revit 上构建集成上传、管理、下载、载入等具有基本功能的族库系统。

2　模型文件的分析

2.1　设备模块化

建立变电工程 BIM 设备库，需要对设计过程中各专业信息进行整理，并对 BIM 模型进行分类，完成对 BIM 模型资源的通用化，系列化，模块化，保证在设计过程的通用易用性，同时做到易维护，可扩展，适应设计领域的发展[2]。对于 BIM 模型资源,由于 Revit 原生软件对于土建结构专业的良好支持，该族库主要针对电气方面专业。

2.2　专业设备构件划分

按照专业分析对变电工程的构件进行分类，考虑到同系列同类型模型形态及提供厂商，结合系统内功能进行划分，参考国家电网上海电力公司文件《输变电工程数字化移交标准（试行）（2016 版）》内提出的四级系统划分专业，该文件已清晰有序划分整个输变电工程中各类设备，作为基本的族库分类标准，对其进行适当简化，保留三级系统作为专业，保留四级系统作为类型，后续细分由文件名表示，并形成树状结构保存信息化模型。设备分类方式如图 1 所示。

2.3　信息模型构成分析

对于 Revit 族文件，默认至少有一个族类型，族内可含有属性参数。

人民邮电出版社出版

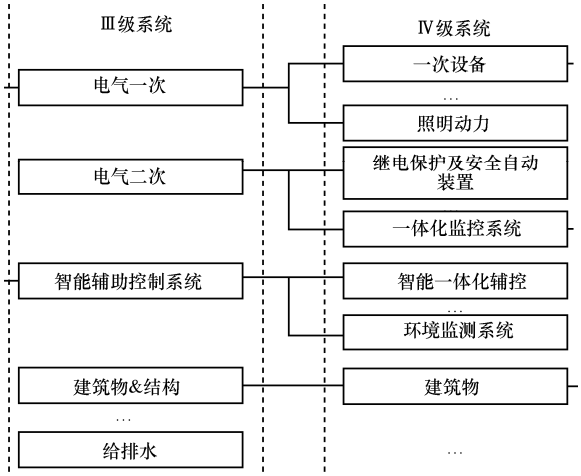


图 1　设备分类方式

参数属性按照作用划分几何属性参数与非几何属性参数，具体如下。

（1）几何参数，通过对同一系列设备的信息化模型研究，为提高通用性，针对模型进行参数设定，将模型尺寸形态使用参数绑定，通过计算式表达几何变化，由此来决定模型空间形态。可根据厂商提供信息，制定系列参数表，将几何参数信息整合进入族库系统有序管理起来。非几何参数，将变电工程周期涉及的信息以文字属性的方式添加到模型文件中，此类属性不涉及几何形态，可使用针对参数操作的 API 访问进行后续处理。

（2）对于仅保存参数无实体设备，针对一些简单几何模型、占位模型或已标准化的模型，使用仅保存关键参数的方式，在工程应用时，直接读取设备参数，使用 Revit API 预设的构建方法在工程内直接创建构件实例，并赋予属性参数。

根据上述分析，族库内部需保存的信息为模型文件和参数表结构（通常为文件）数据，两者作为最小保存单位，可分别独立，或在平台内互相按需结合形成最终符合要求的信息化模型。

3　数据储存系统架构

考虑企业族库内部服务特点，需要较高安全性，相对低并发，且平台搭载于 Revit，其 API 以由 C# 作为主要开发语言，决定在服务端使用传统 FTP 服务作为文件传输，SQL server 作为平台数据库，客户端使用 Revit 作为基础平台，利用 Revit API 进行二次开发，形成 C/S 架构族库管理系统。系统架构如图 2 所示。



图 2　系统架构

系统架构分为四层，具体如下。

（1）系统基础架构层：操作系统，基本文件传输服务器，数据库服务器。

（2）基础模块层：将用户管理模块，权限管理模块，检索接口等引用打包供调用。

（3）流程功能层：根据设计相关需求，将上述基础模块整合成为功能实现的流程。

（4）用户操作层：用户界面操作需要的软件条件和交互式界面，基于 Revit2016 开发环境。

3.1　开发流程简介

整个流程基于 Revit SDK 所提供的 API 与 Revit 软件平台交互，Revit SDK 支持 C#二次开发，且鉴于平台用户端运行在 Windows 上。故所需环境包括 Revit SDK，配置.NET 框架，并创建引用添加 RevitAPI.dll 和 RevitAPIUI.dll[3]，Revit API.dll 包含了在数据库层控制 Revit 的应用、文档、对象和参数的方法，而 Revit APIUI.dll 包含了在操作和 Revit 用户界面层的所有自定义 API 接口[4]。

Revit 扩展功能两种接口为 external command（外部命令）和 external application（外部应用）。实现方式上：external application 利用 OnStartup() 和 OnShutdown()方法在 Revit 程序启停时调用代码实现功能扩展；external command 通过 Execute()执行函数的重载实现功能[2]。

3.2　非模态窗口与外部事务应用

由于 Revit 未对多线程进行优化[5]，在族库主界面开启时，当前外部命令运行窗口时，无法另起线程利用 Revit API 对工程进行操作进行，考虑到平台在打开读取族属性，载入族以及对模型文件属性合并等操作都需要调用 Revit 自身 API，同时必须保持界面当前状态，传统外部命令模式进入无法达到这一要求，由

此采用外部事务与非模态窗口方式，程序在调用自身 API 时将当前平台操作界面挂起，进入 Revit 执行操作，完成后返回界面，由此可完成多次从界面另起调用 Revit API 进行 Revit 平台文档（document）级别操作。因此非模态窗口外部事务是为保证族库平台高效运作采用的基本开发思路。

3.3 族文件自身信息提取

族信息模型自身所包含的直观信息包括模型外形和族属性参数，在族文件上传阶段就针对这些信息进行充分提取保存，方便后续检索处理。

族属性抽取:为获得模型所包含的属性参数，引用 NET 框架中的 System.Data.dll，Revit 的 RevitAPI.dll 和 RevitAPIUI.dll。从非模态窗口界面进入外部事务后，需使用 OpenDocumentFile (familyPath)，将模型文件在 Revit 中打开，并使用 FamilyManager.Parameters 获取所有属性参数，并提取属性名（Definition.Nam)、属性值(currentType.AsString(FamilyParameter)) 、属性分组（ParameterGroup）以及属性类型，以及该属性是否实例，以结构化方式储存于 System.Data.DataSet.DataTable 中。关键参数见表 1。

表 1 关键参数

列名	对应参数类型	说明
属性名	parameterName	字符串，单个族内参数条目名称
属性值	value	转换为字符串保存，取出后根据数据类型变换使用
属性分组	parameterGroup	属性分组，枚举类，共 108 项
属性类型	parameterType	参数类型，枚举类，共 130 项
是否实例	IsInstance	布尔型，决定参数实例参数，或类型参数

属性表生成和读取:属性表在本地载体为 excel 的.xls 文件，采用 C#第三方库 NPOI，将模型文件中抽取属性产生的结构化数据 DataTable 写入 excel，同时可用于读取 excel 中的数据生成 DataTable 数据类型进行进一步操作，由此完成 datatable 与 excel 文件之间的数据互通。

3.4 功能实现详解

平台功能由 Autodesk.Revit 命名空间下的 IExternalCommand 接口进入，由 Execute 方法开始执行，上传部分，运行至弹出 winform 界面，提供族文件位置，获取 rfa 文件路径，获取文件名，获取族属性并生成 excel 表格文件或上传自定义属性表（获取表格文件路径、散列值和名称），获取缩略图（获取缩略图文件路径、散列值和名称）填写缺失或关键信息（主要为文件名、厂商、型号、来源和电压等级），利用 ftp 协议传输上述信息文件，数据库 SQLServer 记录各项文件在服务器位置。

下载部分，同样由 IExternalCommand 接口进入，由 Execute 方法开始执行，运行至弹出 winform 界面,在下载界面根据关键信息索引数据库，下载界面提供的 4 种模式：仅下载，根据索引结果从服务器下载文件和属性表格，属性表格可引入本地自定义表格；仅载入，根据索引结果服务器下载文件并且利用外挂命令载入当前工程；载入并附参数条目，在仅下载基础上，将属性表内条目导入模型文件并载入当前工程；载入并附参数条目与值，在仅下载基础上，将整张属性表导入模型文件并载入当前工程，可使设计人员针对实际情况取舍。

3.5 关于 API 性能分析

Autodesk Revit 所提供的 SDK 中 API 文档表示，由 Autodesk.Revit.DB.FamilyManager 获得，并选择添加参数条目的 API 方法之一：

FamilyManager.AddParameter(string,BuiltInParameterGroup,ParamterType,bool)，四个参数确定参数名称、分组、类型、实例与否，需要注意的是使用添加参数的方法之前，需要确认族（family）内是否含有该参数名，否则方法报错。

属性赋值的 API 方法：

FamilyManager.Set(FamilyParameter,string)

当参数条目设置完毕时，可对参数进行赋值，由于参数值数据来源于 datatable 的 string 类型，故在放置数字类型和 ID 类型的属性值时，需要针对该参数定义时的储存类型进行数据类型的转换，利用 FamilyParameter.StorageType 可得到当前属性的值储存类型，该项为枚举类型，由此得到族文件参数值储存数据结构主要为字符串（string）、浮点数（double）、整数（integer）和族文件在工程中的唯一 ID（ElementId）。

经实际测试，在 I7 6700，16 GB 内存开发机配置下，该步骤每次对一个参数赋值时间为 2 000 ms，工程中断点测试中，排除内存不足及代码问题，同时根据《Revit 2016 模型性能技术说明》，由于 Revit 未对多线程进行优化，其大部分操作为单核 CPU 进行计算，所以初步认定，该 API 方法耗时主要由 CPU 单核频率影响[6]，在设备需要进行较多的时候，单个设备仅参数赋值操作耗时过长，期间在平台上进行其他操作，影响设

水电部电出版社出版

计效率，该操作需谨慎使用，或在大量族载入赋值且无人值守批量操作的情况下进行使用。

4 结束语

从平台当前表现来看，族库替代原有文件夹—文件保存形式，结合自动载入机制，实现高效操作。“型”“表”结合的方式效率提高极为明显，将设计人员 8～10 min 的信息录入操作时间压缩至几秒，基本省去了手动进行输入各种属性信息的时间。

鉴于 API 庞杂及更新速度，后续可加强开发方式，与 Revit 内部其他插件开发配合（仅靠数据生成占位代理模型作为可研初设阶段规划工具）。

至今（截至本文写作时间，Revit 最新版本为 2019）Revit 文件无法向下兼容，所以暂时约定上传时版本不得高于多数设计人员所使用版本。同时由于 Revit 不同版本的 API 内容变化较大，相同的工程代码跨版本编译可能出现 API 不支持的现象，后续需加强兼容性扩展接口开发，以适应 Revit 对 API 的改动。后续需要加强权限，审核，加密功能的深化，并结合各专业协同设计模式，形成一套设计管理体系。

参考文献：

[1] 李宁. 基于 BIM 与 IFC 的混凝土坝施工仿真信息模型构建方法研究[D]. 天津: 天津大学, 2012.

[2] 钱海, 马小军, 来佩. 基于REVIT 二次开发的电气设备族平台的搭建[J]. 土木建筑工程信息技术, 2015, 4(8).

[3] LUEBKE D P. Level of detail for 3D graphics[M]. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2003.

[4] 陈志杨, 罗飞. 基于 WebGL 的 Revit 三维建筑模型重建[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2016.

[5] 王瑜. 基于 Revit 的工作站硬件配置参数测试与分析[J]. 中国工程咨询, 2015(12).

[6] 林良帆. BIM 数据存储与集成管理研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2013.

人民邮电出版社出版

基于 RFID 的资产管理系统设计与实现

高文俊，夏信，王守志，李进，李树昆，庞振江
（北京智芯微电子科技有限公司，北京 100192）

摘　要：如何进行智能化、高效率的资产管理是当前急需解决的问题，应用 RFID 标签分析资产管理系统，并记录资产各个周期的流转信息，将资产日常管理活动与资产管理系统有效地结合在一起，从而达到实物信息与系统信息的实时同步。基于 RFID 的资产管理系统以资产数据为依据，通过 RFID 打印机、RFID 手持终端、RFID 标签读写器完成对 RFID 标签信息的管理、维护，具有高效率、高安全性、高稳定性、数据保存时间长等优点，实现了对资产的安全、快速、高效、稳定、可视化管理和控制。

关键词：资产管理系统；RFID 标签；资产数据；信息管理

1　引言

资产在每个企业都是正常运营的重要物质基础，而随着企业规模的不断扩大，资产数目和种类逐渐增加，其管理和调配成为日益繁琐的工作，如何进行智能化、高效率的管理是当前急需解决的问题[1]。目前，常见的资产的管理业务主要包括以下几个部分。

- 初次统计或新增：采用各部门收集信息，统一打印标签，然后由人工进行标签粘贴。
- 资产变更：因人员流动或资产转移导致资产所有人发生变化，资产信息需要相关人员统计信息，然后进行标签打印及粘贴。
- 日常统计：公司会对固定资产进行不定期盘点，由人工逐一抄读每一个人的资产信息，然后进行信息汇总。

该传统方式带来的工作不便日益明显，主要体现在以下方面。

- 资产变更需要重新进行信息统计、标签打印及粘贴。因资产的使用人/所有人/责任人时常变更以及资产种类繁多（从各个部门的 IT 资产到公司的设备资产，小至一个鼠标大至一台重型设备），该方式耗费大量人力、物力。另外因变更时流程复杂，会出现固定资产所属人和标签信息不一致的问题。
- 固定资产的盘点因资产规模庞大，盘点时主要表现为人力资源耗费大、时间周期长的问题。同时，因人工操作，盘点难免会出现统计错误的情况。

因此，快捷、精确、有序化、信息化地对资产进行高效管理是资产管理系统的出发点。RFID（radio frequency identification，射频识别）标签作为新一代资产跟踪与信息识别（无线射频识别技术）技术，其快速发展给资产管理的信息化、智能化带来了更多的便捷性，具有其他技术方式无可比拟的优越性，在促进传统观念的转变、提升资产管理效率方面有重要的意义。

2　资产管理系统整体设计

资产管理系统采用 RFID 标签记录资产基本信息；通过手持设备和 RFID 标签交互，扫描收集资产信息；手持设备通过无线或者串口的方式把信息上传到资产管理系统[2]，完成数据采集。资产变更时，手持设备通过资产管理系统获取变更任务，与 RFID 标签交互，完成资产变更。资产管理系统可对资产信息进行信息维护、信息查询、资产折旧等处理，其业务架构如图 1 所示。

资产管理系统以密钥管理系统和标签发行系统为依托，保证系统整体安全性及标签自动化生产。采用 RFID 技术构建的资产信息管理系统[3]可以实现对资产信息的入库管理、盘点管理、变更管理、折旧管理等功能，具有高效率、高安全性、高稳定性、数据保存时间长等优点，资产管理系统系统的功能结构如图 2 所示。

人民邮电出版社出版

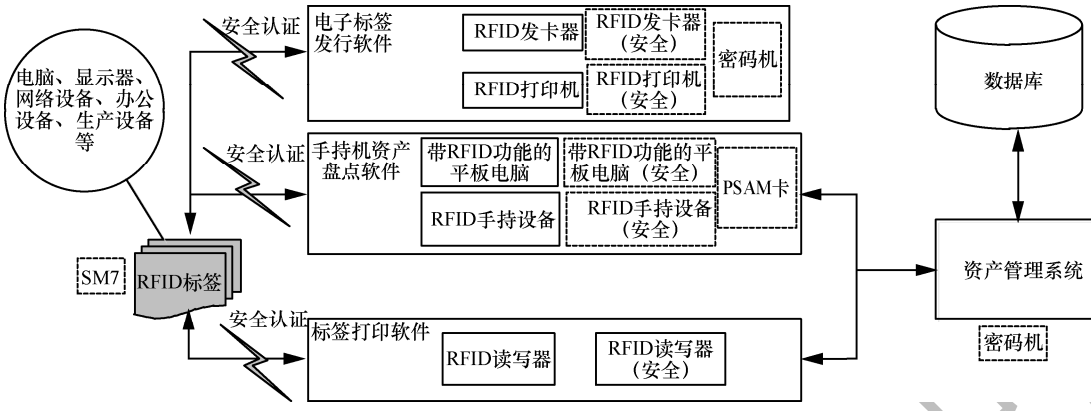


图 1　资产管理系统业务架构

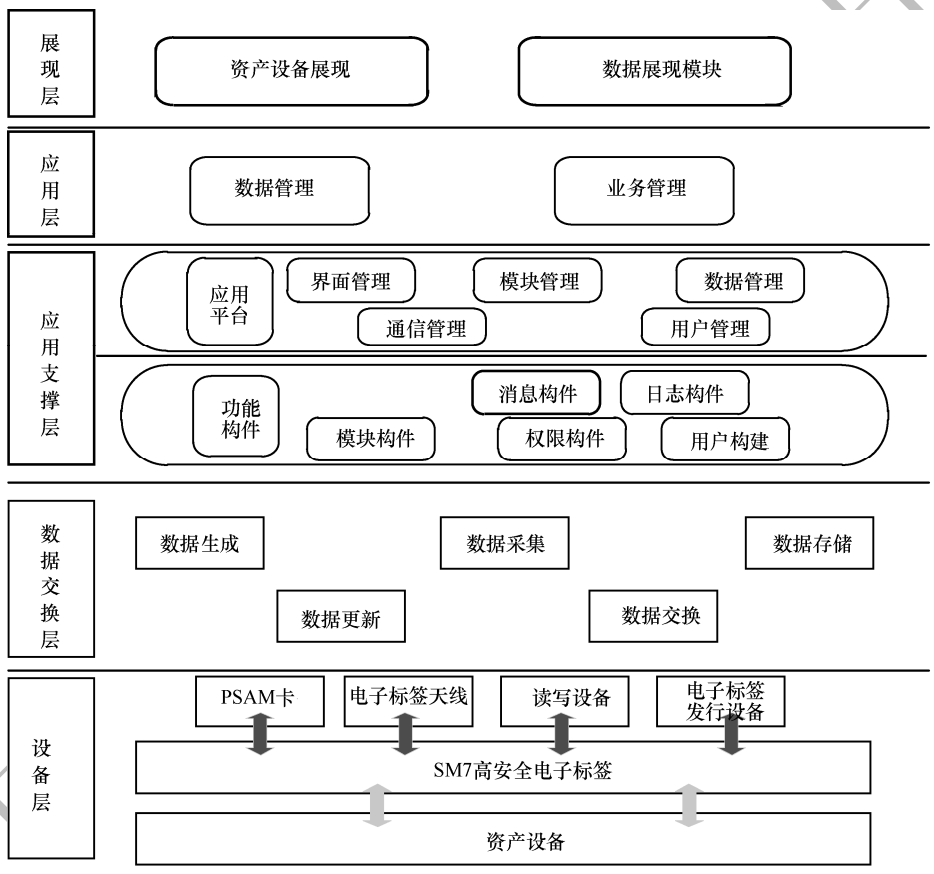


图 2　资产管理系统功能结构

3　资产管理系统功能描述

3.1　系统基本功能模块

资产管理系统功能主要通过代替人工的方式实现对资产全生命周期进行数字化管理[4]，功能概述如下。

- 用户权限管理：区别管理超级管理员和普通用户。超级管理员具有管理普通用户的增加、删除、权限变更等功能。普通用户具有固定资产信息的增删改查及盘点功能。
- 固定资产信息维护：进行固定资产类别及使用人员的增删改查等的相关维护。
- 固定资产的入库管理：固定资产可以逐个导入或批量导入（从文件中导入固定资产信息）；开发从 SAP 中导入数据的接口，可以从资产信息

文件或通过网络直接从 SAP 中下载资产数据。

- 资产数据查询：可以按部门或按使用人员等信息进行固定资产的查询及导出固定资产的盘点任务数据。
- 标签替换：坏了的 RFID 电子标签应该可以替换为新的标签，同时原有资产信息保持不变。
- 固定资产使用者（资产的所属部门、责任人的变更）发生变更时，可以进行使用者信息的维护。
- 资产盘点结果数据导入及统计功能：可以接受手持终端中盘点结果数据，并进行盘点结果数据的统计及报表输出。
- 折旧管理：按照常用的折旧方法进行固定资产的折旧及维护资产净值等信息。
- 报废管理：固定资产因超过使用年限、技术过时、人为损坏等情况时，进行报废处理。

3.2 手持终端盘点模块

该手持终端资产盘点软件应具有以下功能。

- 盘点任务下载功能：包括有线方式和无线方式。用数据线连接时能从系统中导入盘点任务数据，在局域网与服务器建立连接时，可以从服务器上无线下载盘点任务数据。
- 固定资产 RFID 标签群读功能：根据任务数据，按部门进行固定资产信息的无线识别（财务凭证按年或月份资料标签的读取），将读取到的标签信息保存在手持终端中，对于无法读取的资产信息进行标记，方便资产管理人员做出进一步的判断。读取资产时，用声音、颜色等方式提示用户操作结果。
- 条形码扫描功能：当 RFID 标签无法读取时，扫描条形码信息替代 RFID 扫描功能，实现标签数据的逐个采集。
- RFID 标签读写功能：在使用过程中，如果某个资产的 RFID 标签坏掉，可以在空白电子标签上写入原有的条形码信息，用来代替坏掉的 RFID 标签，用户下次盘点时就可以读取已写入的 RFID 标签信息。
- 盘点结果数据上传功能：盘点结果数据上传功能可以将任务的盘点结果通过 Web 服务器上传到服务器，或保持在本地通过有线方式上传。
- 单个标签信息的读取及补写功能：在资产入库时读取对应的标签信息并上传至服务器，对单独标签中信息不全或损坏标签进行补写操作。
- 资产信息安全读写功能：手持终端模块在读写电子标签时，需要和 RFID 电子标签进行基于国密 SM7 和 ECC 算法的安全认证，防止标签信息的泄露，保护标签信息不被篡改或非法使用。

3.3 系统数据描述

3.3.1 采集数据

资产管理系统的数据采集主要是由运维人员、系统用户与 RFID 手持机用户共同承担的，其中开发者主要负责系统初始化、部署时数据的采集，用户负责系统运行数据的采集。资产管理系统主要通过以下几种途径进行数据采集。

- SQL 提交：SQL 提交主要是系统初始化、运维时通过 SQL 向数据库插入数据，主要承担者是运维人员。
- 系统输入：系统输入承担者是系统用户，系统用户在系统表单界面，采用键盘等工具输入数据，根据“提交”“确定”“修改”“删除”等按钮将数据提交进数据库。
- 文件导入：文件导入承担者是系统用户，系统用户通过在系统界面上点击“导入 XX”按钮，选择需要导入的有效数据文件并提交，将文件数据导入数据库中。
- Web services 提交：资产管理系统提供 Web services 功能，通过调用 Web services 可以将数据提交到系统数据中，主要由 RFID 手持机使用者承担。
- RFID 读写器读取：RFID 读写器读取由系统用户承担，系统用户在系统通过 RFID 读写器读取 RFID 电子标签的信息并解析。

3.3.2 输出数据

资产管理系统的数据输出由系统用户与 RFID 手持机用户共同承担，主要通过以下几个路径进行输出。

- 系统显示：系统显示由系统用户来承担，通过表单、表格等形式显示系统数据。
- RFID 打印机打印：RFID 打印机打印由系统用户来承担，系统用户在系统通过 RFID 打印机将数据打印到 RFID 标签上。
- RFID 读写器写入：RFID 打印机打印由系统用户共同承担，系统用户在系统通过 RFID 读写器将数据写入 RFID 标签。
- 文件导出：文件导出承担者是用户，系统用户

人民邮电出版社出版

通过在系统界面上点击“导出 XX”按钮，将需要导出的数据生成文件下载到本地。

- Web services 下载：Web services 下载承担者是 RFID 手持机用户，用户可以通过调用资产管理系统 Web services 将数据导出到 RFID 手持机上。

3.3.3 数据模型

业务数据模型对应关系[5]如图 3 所示。

4 资产管理系统特点

相比现有的资产管理方法，利用 RFID 技术进行的资产全生命周期管理系统有以下独有的特点。

- 快速性：与传统的盘点方式相比，RFID 技术的群读性使其能在几十秒甚至几秒内完成大批量的标签信息读取，提升盘点效率，减少

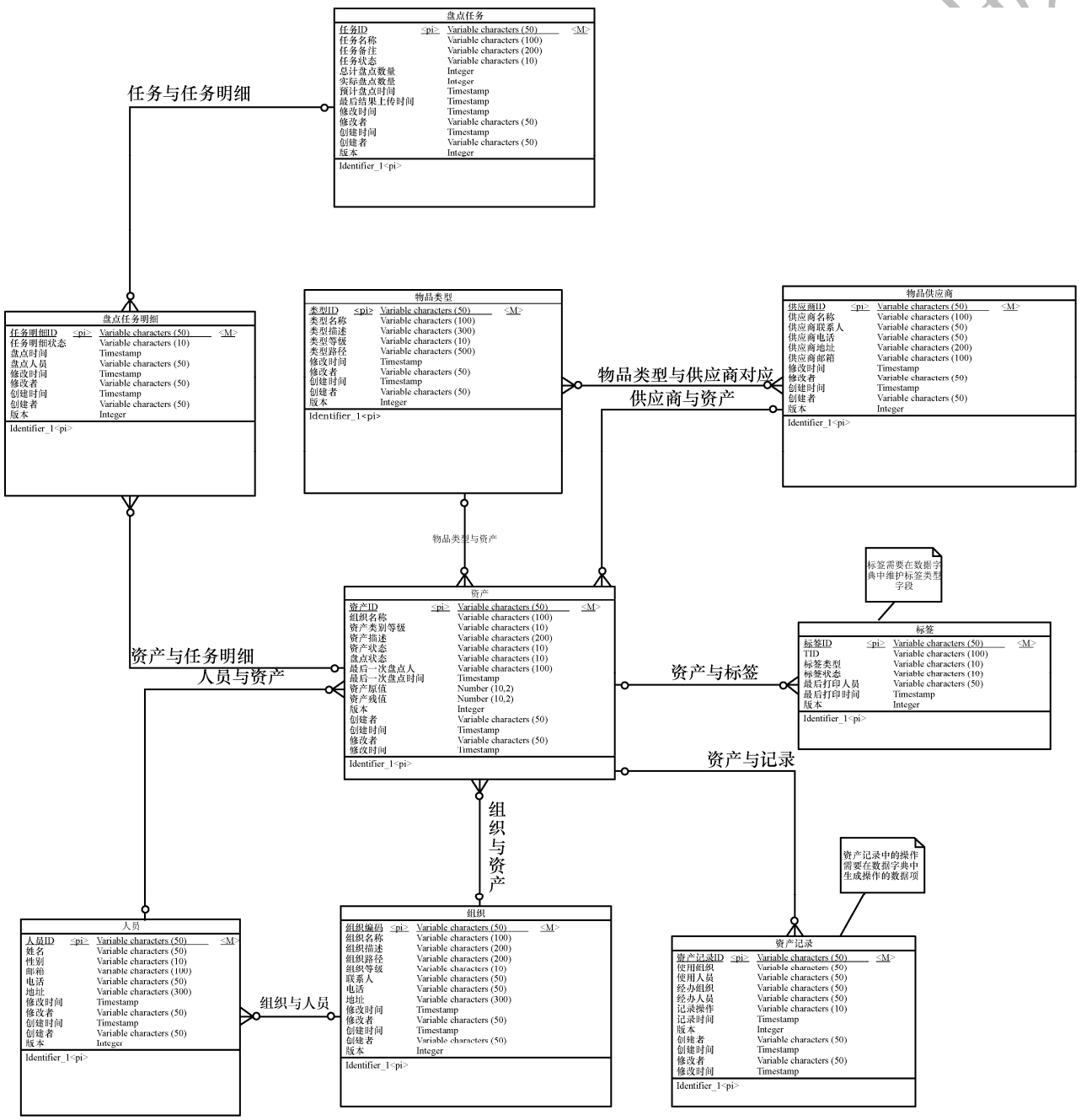


图 3　资产管理系统数据模型

盘点工时。

- 高效性：利用 RFID 技术可以精确定位，从而实现高效的查找功能，改善了传统的手工查找耗时且不方便的缺点。
- 可视性：盘点的结果可以方便地显示在手持机或后台系统中，取代了传统的盘点手工记录的方式，信息处理与存储更加智能化。
- 稳定性：相对于传统的普通标签或是条形码，RFID 电子标签更加稳定，其耐磨损、耐脏污、封装形式多样化等性能都是传统的标签无法比拟的。
- 安全性：基于国密 SM7 安全算法的 RFID 电子标签信息更加安全，不经认证的读写器无法正常读取数据信息，从而有效保证保证资产信息不被盗取、窜改、非法使用。

5 结束语

基于 RFID 的资产管理系统是一套基于 RFID 技术的物联网领域的系统软件，利用 RFID 技术作为物理世界与现有信息系统的桥梁，将资产日常管理活动与资产管理系统有效的整合在一起，从而达到实物信息与系统信息的实时同步一致的目的。资产管理系统极大地提高了资产管理与服务水平，实现了对资产的更有效、更及时的管理和控制，使资产管理的信息化、智能化建设更上一层楼。

参考文献：

[1] 赵冬梅. 固定资产管理系统的研究与应用[J]. 自动化技术与应用, 2011, 30(9): 96-98.

[2] 宁焕生. RFID 重大工程与国家物联网[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.

[3] 刘增勇, 陈祥斌, 王鹏, 等. RFID 技术在装备物流领域的应用[J]. 四川兵工学报, 2012, 33(5): 50-52.

[4] 席云廷, 胡志平. 基于 RFID 技术的智能化资产管理系统[J]. 微型电脑应用, 2010, 26(5): 47-49.

[5] 麻志毅. 面向对象分析与设计[M]. 北京: 机械工业出版社，2008.

人民邮电出版社出版

基于 RSA 算法的分布式密钥分割数字签名实现方案及应用

张蕾[1,2,3]，吴立[4]，陈永军[4]，廖会敏[5]
（1. 国网电子商务有限公司，北京 100069;
2. 国网雄安金融科技集团有限公司，河北 雄安 071800;
3.国家电网电力金融与电子商务实验室，北京 100053;
4. 国网汇通金财（北京）信息科技有限公司，北京 100069;
5.北京天威诚信电子商务服务有限公司，北京 100085）

摘　要：根据当下移动互联网的发展，结合用户习惯使用手机在处理银行转账、签署电子合同等需求，对采用传统的 UKey 进行数字签名的方式存在的弊端进行了分析，并根据 RSA 算法的实现原理和分布式密钥分割的机制，结合 CA、加密机等，提出了基于 RSA 算法的分布式密钥分割的数字签名方案及应用，有效地解决了移动互联网终端、手机应用等在身份认证、数字签名方面的安全性、便捷性等问题，给用户带来了方便。该方案可以应用到金融、移动支付、电子合同的签署等诸多领域。

关键词：RSA 算法；分布式；密钥分割；数字签名

1　引言

在公开密钥密码体制中，为了保障用户私钥的安全性，用户的私钥通常存储在专门的密码硬件中，如存储在 UKey 中使用，且私钥不能从密码硬件中导出。

随着移动互联网业务的飞速发展，用户已经习惯使用手机来处理各种业务，比如通过手机应用进行银行转账、支付、身份认证、电子合同的签署等。虽然蓝牙 UKey 有效解决了移动端的身份认证、数字签名等问题，但因为需要额外的硬件，客户使用起来极不方便，用户体验感不好，且采购成本高。怎样在不使用 UKey，又保证信息安全的前提下，使移动互联网终端应用具有 UKey 类似的功能，一直是用户希望解决的问题。

2　RSA 算法

2.1　非对称算法 RSA

RSA 是 1977 年由罗纳德·李维斯特（Ron Rivest）、阿迪·萨莫尔（Adi Shamir）和伦纳德·阿德曼（Leonard Adleman）一起提出的，对极大整数做因数分解的难度决定了 RSA 算法的可靠性。换言之，对一个极大整数做因数分解愈困难，RSA 算法愈可靠。假如有人找到一种快速分解因数的算法，那么用 RSA 加密的信息可靠性就肯定会极度下降。但找到这样的算法的可能性是非常小的。只要其钥匙的长度足够长，用 RSA 加密的信息实际上是不能被破解的。

2.2　RSA 算法的签名验签

RSA 算法是一种非对称算法，它由公钥（N，E）和私钥（N，D）组成，设 m 为消息的原始信息，这个原始信息经过一定的散列函数（常用的有 MD5、SHA1 等算法）处理得到的摘要记为 $h(m)$，现介绍其签名和验证的过程。

（1）私钥签名的过程

签名的过程是一个私钥操作的过程，设签名的结果为 S，那么 $S=(h(m))^D \bmod N$。

（2）签名验证的过程

验证签名就是利用公钥对签名结果进行解密的过程，解密的结果记为 $H(m)$，那么 $H(m)=S^E \bmod N$；然后验证 $H(m)$与 $h(m)$是不是相等，如果相等则表明验证通过。

3　分布式密钥分割方案

3.1　分布式计算

分布式计算是一门计算机科学，它研究如何把一个需要非常巨大的计算能力才能解决的问题分成许多小的部分，然后把这些部分分配给许多计算机进行处

人民邮电出版社出版

理，最后把这些计算结果综合起来得到最终的结果。分布式计算就是在两个或多个软件互相共享信息，这些软件既可以在同一台计算机上运行，也可以在通过网络连接起来的多台计算机上运行。

传统的分布式计算主要是利用互联网上计算机的中央处理器的闲置能力来解决大型计算的问题，通过资源共享，分布式计算可以在多台计算机上平衡计算负载。本文的分布式密钥，除了资源共享外，更多的是出于密钥安全方面的考虑，把密钥分为多份存储在不同的载体上，当需要使用密钥进行签名时，再调用不同的载体对数据分别进行计算，最后将这些数据综合起来再计算得到最终的数据。

3.2 密钥分割

密钥的安全决定着整个系统的安全，而传统密码体制中密钥的安全性最终取决于一个主密钥。这样做有如下缺陷：

- 如果主密钥被暴露，那么整个系统就容易受到攻击；
- 如果主密钥丢失或被毁坏，系统中所有的信息就无法使用。

为了解决上述两个问题，可以对主密钥进行加密或者将密钥的副本发送给信得过的用户，但是这两种方法不能从根本上解决问题。解决上述问题的一个较好的办法是使用密钥分割的方法。密钥分割的基本观点是：将密钥 K 按下述方式分成 n 个份额 $K_1,K_2,K_3,\cdots,K_n$. 并具有如下的特点：

- 已知任意 t 个 K 值容易计算出 k；
- 已知任意 $t-1$ 个或更少个 K，则得不到关于 k 的任何信息。

这种方法也被称为门限(threshold)法。

将 n 个份额 $K_1,K_2,K_3,\cdots,K_n$ 分发给 n 个用户。由于重构密钥要求至少有 t 个份额，所以 $s(s<1)$个份额的暴露不会危及密钥安全，而且少于 t 个用户的成员组即使合作也得不到关于密钥的任何信息。同时，如果部分份额丢失或损坏，仍然可以恢复出密钥（只要至少有 t 个有效的份额）。这种方法可以用于保护任何类型的数据。密钥分割方案最早由 Shamir 和 Blakley 提出，现简要介绍一下 Shamir 密钥分割方案。

在 Shamir(t,n)门限秘密分享方案中，可信中心把秘密 d 拆分成 n 份，分发给 n 个参与者 $U_1,U_2,\cdots,U_n$ 。任意 $t+1$ 个或 $t+1$ 个以上的参与者一起可恢复秘密 d，任意 t 个参与者一起不能得到秘密 d 的任何信息，详细方案如下：

（1)可信中心秘密构造 t 阶多项式 $f(x)=\sum_{i-0}^{t}a_i x_i$ ，其中秘密 $d=f(0)=a_0$;

（2）可信中心计算 $d_i=f(i)$，并秘密地把 d_i 分别发送给参与者 U_i，$1\leqslant i\leqslant n$；

（3）U_i 将 d_i 作为份额保存。

上述过程称为 t 阶 SS，并称多项式 $f(x)$为分享多项式。此时，任意 $t+1$ 个参与者集合 Q 可通过拉格朗日插值公式 $d=\sum_{i\in Q}(d_i\prod_{j\in Q,j\neq i}\frac{j}{j-i})$ 恢复出密钥。

3.3 RSA 算法的密钥分割

根据 Shamir 密钥分割的方案，结合 RSA 算法的原理，本文对其方案进行了改进，基于(t,n)的密钥分割方案设置 $t=n$ 。RSA 算法的公钥是公开的，私钥是保密的，现需要对私钥 D 进行分割。

①假设私钥 $D=d_1+d_2$，根据第 2 节中 RSA 签名过程；

②$S=(h(m))^D \bmod N=(h(m))(d_1+d_2) \bmod N$ ；

③记 $Z_1=(h(m))^{d_1}$，$Z_2=(h(m))^{d_2}$ ；

④根据 mod 运算的分配律；

⑤$S=((Z_1 \bmod N)*(Z_2 \bmod N)) \bmod N$ ；

⑥记 $S_1=Z_1 \bmod N$，$S_2=Z_2 \bmod N$；

⑦$S=(S_1*S_2) \bmod N$，可以看出，只要计算出 S_1 和 S_2，便可得出最终的签名数据 S；

⑧其中 $S_1=Z_1 \bmod N=(h(m))^{d_1} \bmod N$，$S_2=Z_2 \bmod N=(h(m))^{d_2} \bmod N$；

⑨即 $S_1==(h(m))^{d_1} \bmod N$，$S_2=(h(m))^{d_2} \bmod N$；

⑩由 $D=d_1+d_2$，显然 S_1 和 S_2 可以分别计算出来。

根据以上操作，当 $D=d_1+d_2+\cdots d_i$ 时，均可以进行上述操作完成密钥的分割，分别计算签名的分量，最终合成签名的最终数据 S。

4 方案实现

根据密钥分割的原理，结合 RSA 算法的实现机制，本文制定了一套基于 RSA 算法的密钥分割的签发方案。

将传统的密钥分割为客户端密钥因子与服务器端密钥因子两部分，手机与服务器分别存储各自的密钥因子，以此保证密钥的安全存储。通过注册交换临时公钥信息，计算出完整的用户公钥，通过 CA 机构颁发的数字证书对外发布。用户手机端的密钥因子采用

人民邮电出版社出版

加密存储，且与设备强相关，用户进行设备变更需要用户提供可信的身份证明；服务器端密钥因子存储保护采用硬件级加密技术；在签名业务过程中，密钥因子的调用都要求用户的授权许可，充分保证了密钥因子的安全；密钥因子的调用必须是已授权的应用才能够调用。

（1）参与签名成员将各自的身份标识发送给可信中心。

（2）可信中心生成公私钥对，并将公钥公布，同时可信中心根据步骤（1）中的身份标识生成与参与签名成员人数相等的私钥分量，并将生成的私钥分量分别发给参与签名的成员。

（3）其中一名签名成员发布待签名消息 *m*，并将待签名消息 m 分享给其他的签名成员。

（4）参与签名成员根据待签名消息的摘要 *h*(*m*)生成签名分量 *Si*。

(5)参与签名成员接收所有成员的签名分量*Si*后，由其中的一个成员合成签名，最后得到完整的签名数据 *S*。

密钥产生过程如图 1 所示。

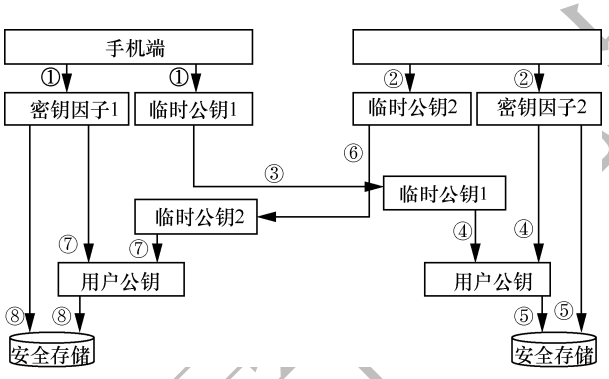


图 1　密钥产生过程

① 手机端产生：密钥因子 1、临时公钥 1。

② 服务端产生：密钥因子 2、临时公钥 2。

③ 手机端向服务端发送临时公钥 1。

④ 服务端基于密钥因子 2 和临时公钥 1，产生用户公钥。

⑤ 服务端安全存储密钥因子 2、用户公钥。

⑥ 服务端向手机端发送临时公钥 2。

⑦ 手机端基于密钥因子 1 和临时公约 2，产生用户公钥。

⑧ 手机端安全存储密钥因子 1、用户公钥。

密钥分割使用过程如图 2 所示。

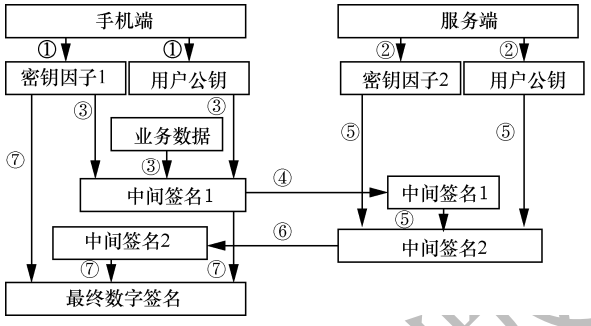


图 2　密钥分割使用过程

① 手机端从安全存储读取密钥因子 1、用户公钥。

② 服务端从安全存储读取密钥因子 2、用户公钥。

③ 手机端基于密钥因子 1、用户公钥、业务数据，计算中间签名 1。

④ 手机端想服务端发送中间签名 1。

⑤ 服务端基于中间签名 1、密钥因子 2、用户公钥，计算中间签名 2。

⑥ 服务端向手机端发送中间签名 2。

⑦ 手机端基于中间签名 2、中间签名 1、密钥因子 1，计算最终数字签名。

5　应用

5.1　可信中心

CA 中心又称 CA 机构，为每个使用公开密钥的用户发放一个数字证书，CA 作为权威的、可信赖的、公正的第三方机构，专门负责发放并管理所有参与网上交易的实体所需的数字证书。国外的 CA 机构有赛门铁克及 Globalsign 公司等，国内比较有影响力的 CA 机构主要有上海数字认证中心及北京天威诚信公司等。

显然 CA 机构可以作为可信中心，但在传统的 CA 体系中，CA 不产生用户的公私钥对，一般由 UKey 产生公私钥对后，传输公钥给 CA 中心用于生产客户的数字证书。在前文中提到，随着移动互联网的飞速发展，用户习惯了使用手机来处理各种业务，但 UKey 在手机端使用时多有不便。

5.2　RSA 算法密钥分割的应用

CA 机构具有足够的可信赖性，但由 CA 机构产生 RSA 算法的公私钥对后，再把私钥下发给用户这个方法违背了私钥的保密性，而且私钥在传输的过程中存在泄露的问题。加密机是通过国家商用密码主管部门鉴定并批准使用的国内自主开发的主机加密设备，加密机是一种硬件设备，可以产生 RSA 公私钥对，加上加密机特有的安全机制，保证 RSA 的私钥永不被导出

或泄露到外部。通过 CA 机构收集用户的信息，加密机生成 RSA 算法的公私钥对，加密机将生成的公钥发给用户，然后加密机将生成的私钥分成 3 份，一份由加密机自身保管，一份发给 CA 机构，一份发给用户，CA 机构采用现有的机制给用户生成数字证书。

在应用场景中，当用户需要进行数字签名时，客户端、CA 机构、加密机采用第 4 节中的方法用各自的私钥分离对数据进行签名，最后经过合成后生成签名数据，完成整个的数字签名过程。RSA 密钥分割的应用如图 3 所示。

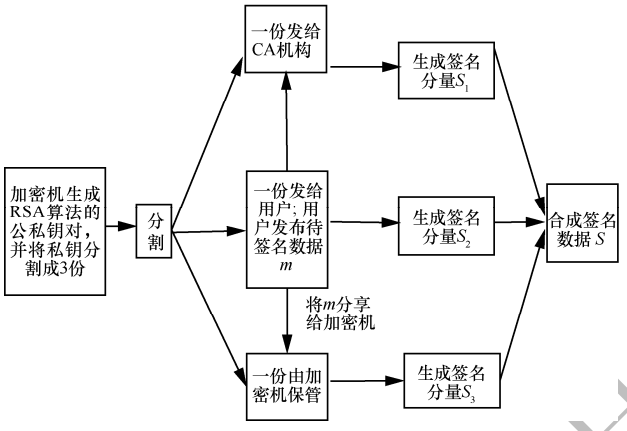


图 3　RSA 密钥分割的应用

5.3　安全性分析

在本应用中，可能存在的安全隐患有私钥分量被破坏、用户私钥分量泄露、用户签名人伪造签名。对于私钥分量被破坏的问题，可以采用加密机在分发私钥分量时，计算各个分量的 Hash 值并把 Hash 值传送给可信中心，在进行签名之前，各个签名分量计算各自私钥分量的 Hash 值传送给可信中心，可信中心进行 Hash 值的比对，比对通过后再进行签名。

对用户私钥分量的泄露，可以采用在用户移动终端通过口令对私钥分量进行保护以免泄露。对于用户签名分量伪造签名，由于公钥中用户签名分量只知道公钥 N、E，所有抵抗其伪造签名的安全性强度等价于 RSA 的安全机制。

6　结束语

本文根据当下移动互联网的发展，结合用户习惯使用手机在处理银行转账、签署电子合同等需求，对采用传统的 UKey 进行数字签名的方式存在的弊端进行了分析，并根据 RSA 算法的实现原理和分布式密钥分割的机制，结合 CA、加密机等，提出了基于 RSA 算法的分布式密钥分割的数字签名方案及应用，有效地解决了移动互联网终端、手机应用等在身份认证、数字签名方面的安全性、便捷性等问题，给用户带来了方便。该方案可以应用到金融、移动支付、电子合同的签署等诸多领域。

参考文献：

[1] SHAMIR A. How to share a secret[J]. Communications of the ACM, 1979, 22(11): 612–613.

[2] DESMEDT Y, FRANKEL Y. Threshold cryptosystems[C].//Advances in Cryptology—CRYPTO '89 Proceedings. Springer.

[3] REITER M K, FRANKLIN M K, LACY J B, et al. The Ω key management service[C]//Proceedings of the 3rd ACM Conference. ACM Press.

[4] 陈传波, 祝中涛. RSA 算法应用及实现细节[J]. 计算机工程与科学, 2006, 28(9):13-14.

[5] 冯泽宇, 巩博儒, 赵运磊. 基于离散对数的数字签名标准对比研究[J]. 计算机工程, 2016, 42(1):145-149.

人民邮电出版社出版

基于 RTDS 数模仿真平台的智能变电站继电保护设备系统测试

邱荣福[1]，朱子坤[2]

（1. 鼎信信息科技有限责任公司，广东 广州 510700；2. 广东电网化州供电局，广东 茂名 515000）

摘　要：介绍了基于 RTDS 的智能变电站数模仿真平台，搭建了智能变电站测试模型和环境，简述了智能变电站继电保护设备测试项目，并通过仿真实现对不同厂商、不同类型智能保护设备的系统测试，提供了可行的智能变电站继电保护设备测试研究方案。

关键词：RTDS；数模仿真平台；智能变电站；系统测试

1　引言

近年智能电网发展迅速，“十三五”期间南方电网将以“安全、可靠、绿色、高效”为目标，全面推进智能变电站建设。智能变电站二次设备具有数字化、网络化、智能化的技术特点[1]，保护跳闸、联闭锁等开关量以 GOOSE 报文形式通过光纤进行传输，交流模拟量仍然采用常规采样方式，这些新的特点和变化使得常规的继电保护设备测试项目与测试手段已经不能完全满足智能变电站二次设备性能测试的需要。

基于 DSP（digital signal processing，数字信号处理）技术、计算机技术、并行处理技术和数字仿真技术的实时仿真装置（real time digital simulator，RTDS）是基于电磁暂态程序的全数字实时仿真装置，其元件模型和仿真精度已获得仿真领域内较高的认可度[2-3]。以 RTDS 为核心构建智能变电站数字物理测试平台，能够在典型的变电站一次系统结构的基础上，动态仿真电力系统的运行特性，验证不同厂商或不同类型智能设备保护性能、互操性和互换性[4]，为智能变电站继电保护设备技术规范制定提供参考依据，有效提升智能变电站继电保护装置制造和运行水平。

2　数模仿真测试平台总体架构

智能变电站数模仿真测试平台应按照智能变电站一、二次实际结构搭建，兼顾扩展性与测试便利性，适应被测厂商和设备类型多的特点，应具有较好的替代性和重复性。

2.1　一次系统建模

由于 RTDS 基于电磁暂态仿真技术，因此其仿真规模受到每个机箱（RACK）计算能力的限制，而智能变电站继电保护数字仿真测试平台主要检验设备的保护性能、互操作性和互换性，宜采用最小的 RTDS 资源覆盖所有不同保护装置的测试[5-6]。以典型 220 kV 一次系统模型为例（如图 1 所示），一次模型采用双母线接线方式，2 条出线中的甲线直挂 I 母、乙线直挂 II 母，其中乙线不带测试保护，主要用于模拟线路区外故障；2 台主变采用三绕组变压器，一台直挂 I 母且低压侧带载运行，另 1 台主变空载运行，以模拟变压器和应涌流[7]。220 kV 一次系统模型参数可参照南方电网保护装置性能检验检测方案统一设置。

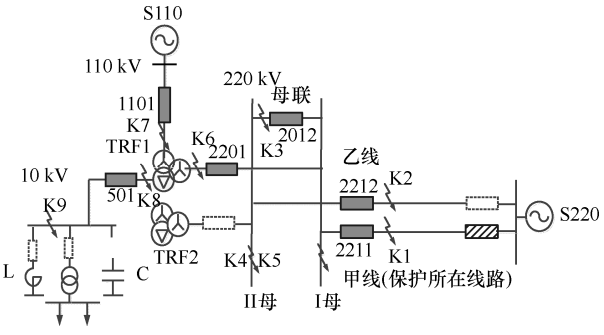


图 1　220 kV 智能变电站一次结构

2.2　二次系统架构

测试平台由 RTDS（包括外设板卡）、数字功率放大器、交换机、线路保护装置、母线保护装置、主变保护装置、智能终端等构成，如图 2 所示。该测试平

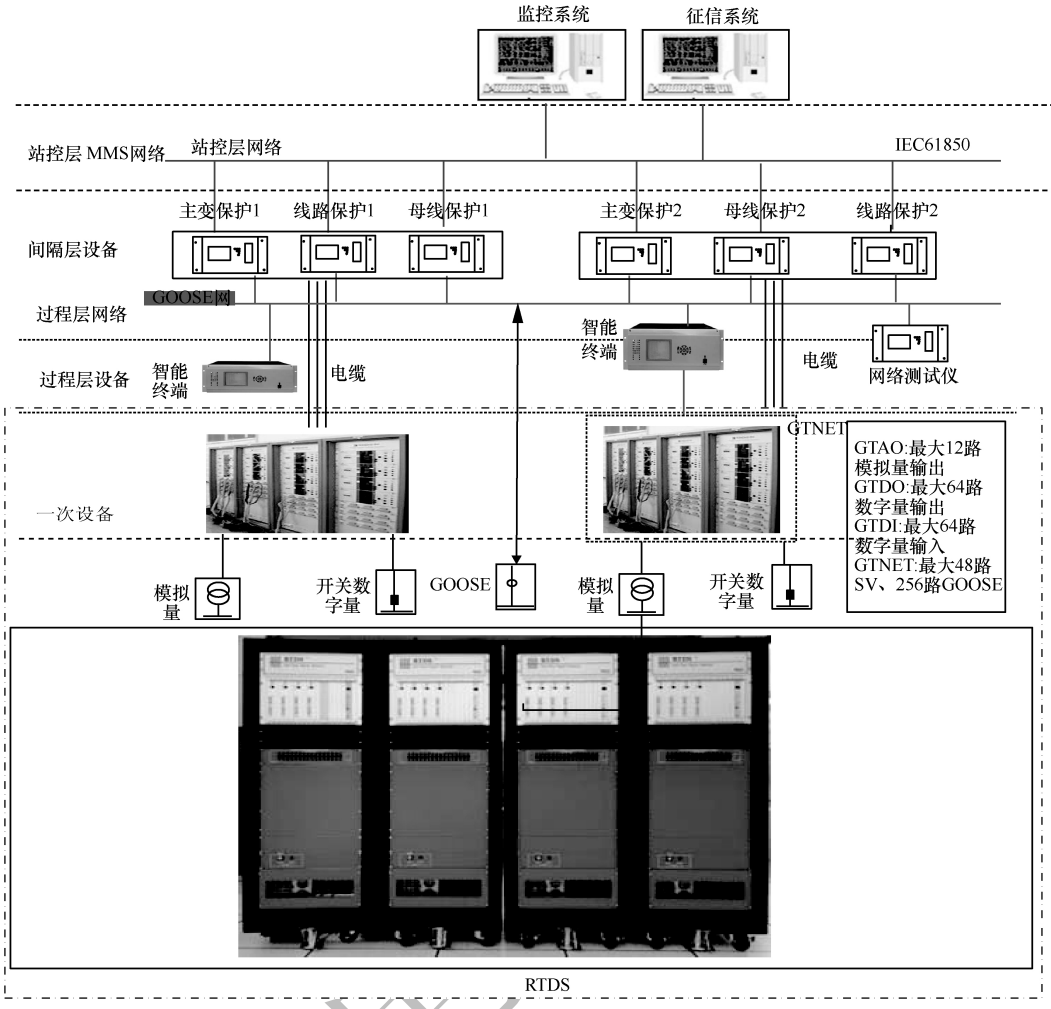


图 2　智能变电站数模闭环仿真测试平台

台以 RTDS 仿真系统模拟一次设备输出的电流、电压量作为测试平台的采样值数据输入，以继电器转换装置作为测试平台与 RTDS 之间的开入开出实现载体，使测试平台与 RTDS 构成一个智能变电站闭环测试系统。

测试平台采用网络跳闸的组网模式，采用双网结构，其中各设备厂商的 IED（intelligent electronic device，智能电子设备）均同时接入 A1 网、A2 网。测试平台可同时对不同厂商保护设备进行测试。为清晰显示一二次系统对应关系，以 220 kV 系统保护厂商 A 的继电保护设备组网方案进行说明，仅给出 GOOSE-A1 网，如图 3 所示。

3　二次系统与 RTDS 接口

RTDS 是加拿大 RTDS 公司开发的针对电力系统电磁暂态仿真的实时数字仿真器，能够将计算结果通过 D/A 转换以物理量形式输出，通过多类 I/O 板卡与实际设备形成数字—物理闭环。RTDS 的基本单元是 RACK，根据当前 RTDS 最新的硬件配置，每个 RACK 主要由 PB5 处理器、工作站通信板卡 GTWIF、RACK 间通信板卡 IRC 以及 4 类输入/输出板卡（模拟量输入板卡 GTAI、模拟量输出板卡 GTAO、数字量输入板卡 GTDI 和数字输出板卡 GTDO[8-9]）组成。

基于 RTDS 数模仿真平台使用 1 个 RACK，共配置 4 块 PB5 处理器。由于继电保护设备被测厂商较多，将第 2~4 块 PB5 处理器的背板光纤连接到第 1 块 PB5 处理器，以增大 RACK 的节点计算能力，如图 4 所示。

GTAO 的输出范围为−10~10 V 模拟量，需换算出 GTAO 的电流电压系数，经功率放大器转化为二次电压、电流，作为保护装置的采样。GTDO 的供电电源为 24 V，开出的干节点需经模拟量转接屏，实现智能变电站开关、刀闸位置信号的输入等功能。GTDI 接

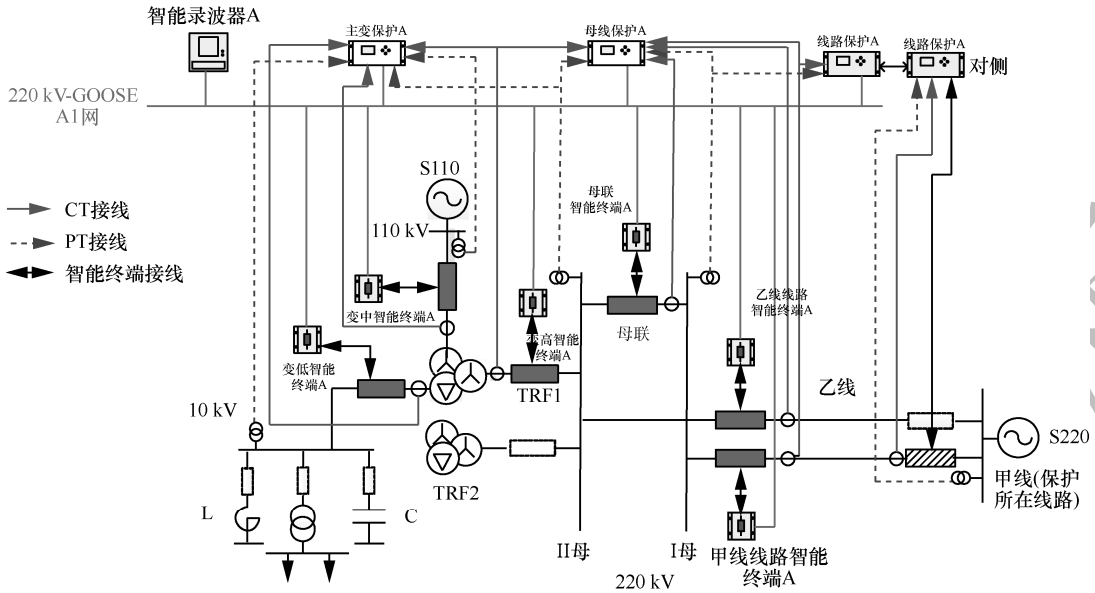


图 3　一、二次系统连接关系

收智能变电站智能终端开出的保护跳闸干节点，并串联 24 V 电源，作为 RTDS 的开入。GTNET 作为一个 IED 设备，接收保护装置发出的保护跳闸 GOOSE 信号，计算分析保护动作整组动作时间[10]。

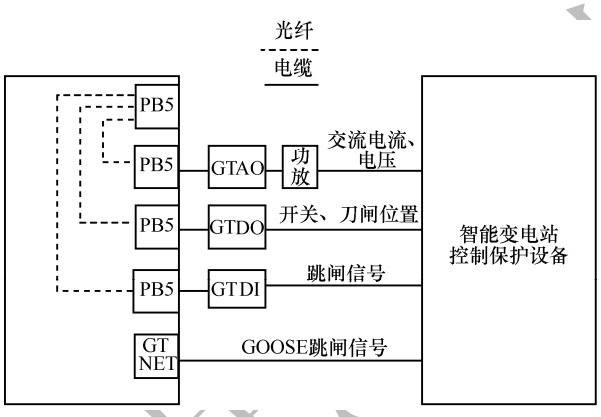


图 4　220 kV 智能变电站与 RTDS 连接示意

4　线路保护装置系统仿真测试

参照《智能变电站继电保护检验测试规范》标准，继电保护装置系统测试应包括：常规系统功能、装置异常、系统通信异常、系统网络压力等测试大项，研究梳理出保护跳闸回路延时性能、保护装置单网阻塞、GOOSE 检修等 53 项测试小项。为了测试装置的互操作性和互换性，SCD 集成时遵循以下两个原则：智能终端不能订阅本厂商的保护 GOOSE；母差保护不能订阅本厂商保护 GOOSE。

本文以南瑞科技 220 kV 线路保护整组动作时间测试为例做具体说明。在测试系统 220 kV 线路 2201 的 K1 点分别设置 AN 金属性永久故障，使用智能录波器和 RTDS 记录保护动作时间（T_p）、保护出口到智能终端动作时间（T_i）及保护动作整组动作时间（T），并录波存储。动作记录时间见表 1，智能录波器的录波如图 5 所示。

5　结束语

“十三五”期间，智能变电站将大力普及和应用，如何最大限度模拟智能变电站，开展全过程各环节仿真测试，全面验证智能站各项技术可靠性与成熟度，为技术标准编制提供数据依据，服务二次事故分析、反措技术验证，建设新技术验证及技术创新平台，将

表 1　南瑞科技 220 kV 线路保护整组动作时间

故障点及故障类型	保护动作时间/ms	保护出口到智能终端动作时间/ms	保护动作整组动作时间/ms	保护动作情况	备注
K1AN（永久）	A 相：14.45 B 相：14.45 C 相：14.45	A 相：3.1 B 相：3.1 C 相：3.25	17.7	纵联差动保护动作重合闸动作	离母线侧 80 km

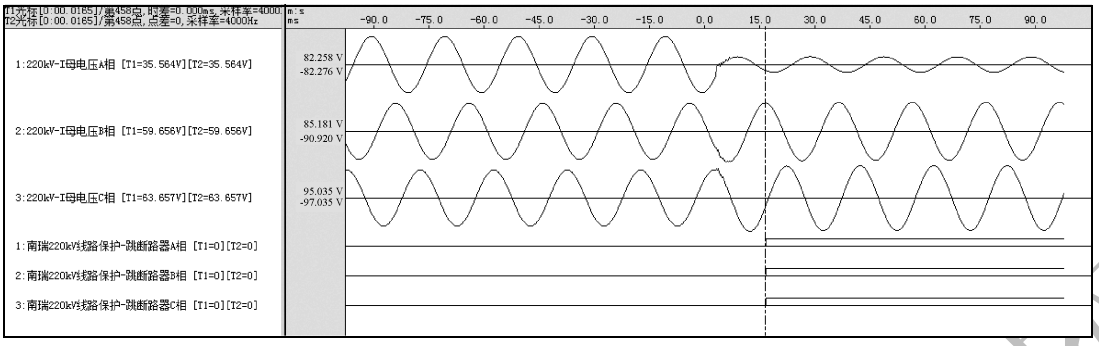


图 5　南瑞科技 220 kV 线路保护动作录波

成为新的研究课题。以 RTDS 数字仿真系统为核心的动态仿真平台能够模拟实际一次、二次系统环境，并实时考察二次设备的动态性能，将为今后智能变电站二次系统研究提供有力的支撑。

参考文献：

[1] 孙一民, 李延新, 黎强, 等. 分阶段实现数字化变电站系统的工程方案[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(5): 90-93.

[2] 梁志成, 马献东, 王力科, 等. 实时数字仿真器 RTDS 及其应用[J]. 电力系统自动化, 1997, 21(10): 61-64.

[3] 常浩, 张民, 马为民. 实时数字仿真器的应用[J]. 中国电力, 2006, 39(7): 56-60.

[4] 何磊. IEC61850 应用入门[M]. 北京：中国电力出版社, 2012.

[5] 张旭航, 徐瑞林, 祝瑞金, 等. RTDS 在继电保护试验上的应用研究[J]. 华东电力, 2012, 40(1): 79-81.

[6] 杨超. 基于 RTDS 平台的智能分布式馈线自动化仿真测试[J]. 华东电力, 2014, 42(12): 2568-2571.

[7] 赵元哲, 李群湛, 周福林, 等. 电力机车变压器和应涌流产生机理与影响因素[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(12): 44-52.

[8] 郭丽娟, 陈乃添, 刘南平, 等. 实时数字仿真装置 RTDS 介绍[J]. 广西电力, 2004(1): 62-64.

[9] 许汉平, 黄涌, 陈坚, 等. 电力系统实时数字仿真系统介绍[J]. 华中电力, 2002, 15(3): 10-12.

[10] 蔡海青, 郭琦, 张建设, 等. 基于 RTDS 的数字与物理混合仿真接口设计与实现[J]. 南方电网技术, 2015, 9(11): 52-57.

人民邮电出版社出版

基于本地费控电表的线上交费业务研究与应用

李靖波，张慧
（国网宁夏电力有限公司电力科学研究院客户服务中心，宁夏 银川 750002）

摘　要：针对本地费控电表，阐述了实现电费远程充值业务的流程、内容、方法和意义。介绍了实现电费远程充值业务所涉及的业务系统、设备体系，系统之间的交互、关联方法，用户开通方法，应急保障以及电卡购电业务的技术处理等。对电力企业推广互联网+营销服务工作有一定参考利用价值。

关键词：本地费控；电表；线上交费；应用

1　引言

随着互联网技术和国家电网公司营销信息化技术的不断发展，多渠道缴费和微信、支付宝等互联网缴费平台已经被广大电力客户深深信赖，营销业务各信息化系统之间的互联互通和信息共享基本实现。国家电网公司自 2015 年以来开始建设掌上电力、电 e 宝等基于互联网的 App，为电力企业线上交费业务应用提供了基本条件。目前，宁夏地区普遍安装本地费控智能电表，均采用电卡预付费购电形式，此种购电方式为线上交费业务应用带来一定的技术难度，基于本地费控电表的电费远程充值功能研究和线上交费业务应用成为宁夏电力公司的迫切需要。

2　业务流程及内容

宁夏地区开通线上交费业务，关键是要实现对本地费控智能电表的电费远程充值功能。电费远程充值业务从业务系统主站到客户用电现场的电表，整个业务链条较长，涉及微信、支付宝、掌上电力、电 e 宝、营销业务应用系统、用电信息采集系统、一体化缴费平台、多元化运维监控平台、无线公网、应急掌机抢修系统、现场采集设备、智能电表等 10 多个系统及设备体系。本地费控电表电费远程充值业务拓扑图如图 1 所示。

2.1　业务开通

低压电力客户开通电费远程充值功能有 3 种方式。

（1）可以持购电卡到宁夏地区各供电营业厅开通电费远程充值功能，营业厅工作人员审核该户系统用电档案正常，维护联系人手机号码、身份证信息后，即可开通。

（2）拨打技术服务热线电话开通电费远程充值功能，电话服务坐席人员维护系统内该户联系人手机号码、身份证信息后，即可开通。

（3）客户自行下载掌上电力 App，注册登录后，在业务开通页面申请开通电费远程充值业务，上传录入相关信息，后台坐席在线审核通过后，即可开通。

2.2　电费充值

客户通过不同缴费渠道进行购电，统一在营销业务应用系统进行缴纳电费，缴纳电费成功后向客户发送缴纳电费成功短信。营销业务应用系统缴纳电费成功后推送充值购电单至用电信息采集系统，用电信息采集系统根据营销业务应用系统推送的购电单将本次购电金额远程充值至客户电表内，并向营销业务应用系统推送充值结果。具体过程如下。

（1）营销业务应用系统在接收到一体化缴费平台传来的购电请求后，在营销业务应用系统缴纳电费，记账成功后将成功消息通过一体化缴费平台推送至线上交费渠道，并向客户发送缴纳电费成功短信。营销业务应用系统生成电费远程充值任务单并通过接口推送至用电信息采集系统。

（2）用电信息采集系统将客户购电金额经过无线公网远程充值至客户现场电表内，并根据充值结果向营销业务应用系统推送下装结果。在电费远程充值过程中，用电信息采集系统接收到营销业务应用系统用户购电任务工单，系统将充值命令下发到终端，并将终端返回的远程充值结果进行汇总，向上返回到营销

人民邮电出版社出版

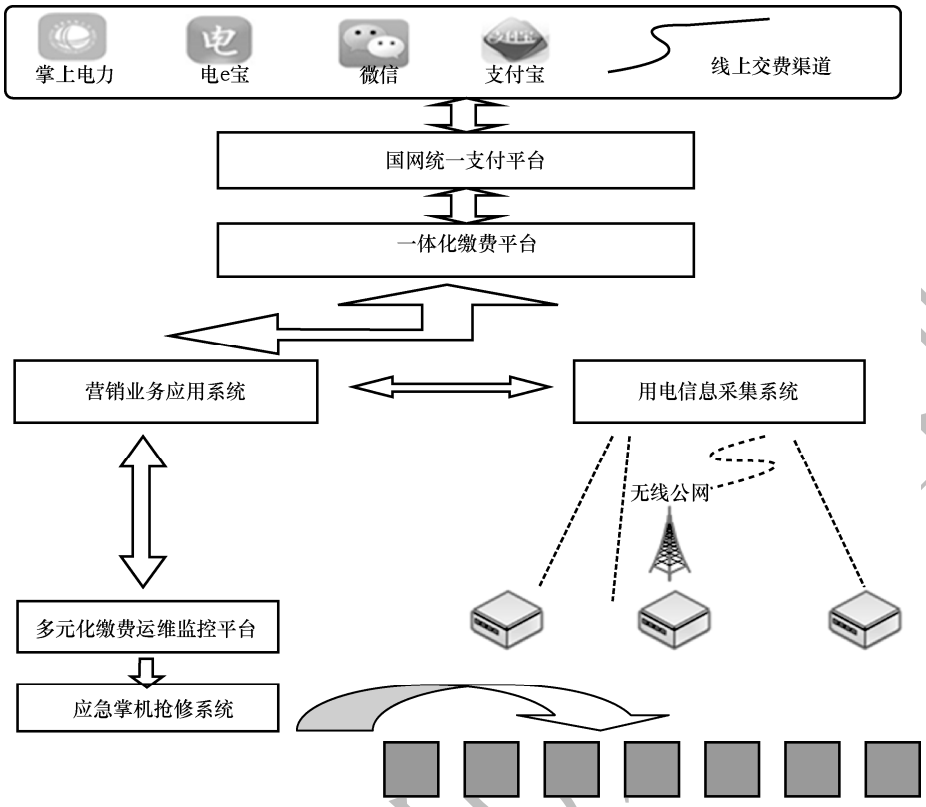


图 1　本地费控电表电费远程充值拓扑图

业务应用系统，向下将失败的工单推送到应急掌机抢修系统。

（3）用电信息采集系统接收营销业务应用系统日常购电工单（电表户号、购电次数、购电金额）等信息，根据购电工单进行购电金额下发。在购电下发前进行身份认证，认证失败则通知营销业务应用系统，并将工单推送移动应急掌机抢修系统；用电信息采集系统在认证成功后，召测电表的购电次数、剩余金额，若本次购电次数–电能表内购电次数=0，则反馈营销业务应用系统故障代码‘重复充值’；若本次购电次数–电能表内购电次数=1，继续下发；本次购电次数–电能表内购电次数≠1，则反馈营销业务应用系统故障代码‘购电次数错误’，并将工单推送移动应急掌机抢修系统。

（4）购电下发成功后，用电信息采集系统召测下发后的电表余额和购电次数，本次下发购电单的购电次数–充值后电能表召测的购电次数=0，同时充值后的剩余金额–充值前的剩余金额>0，本次充值置为成功并反馈营销业务应用系统下发成功；若下发失败，系统自动通知营销业务应用系统，同时将购电工单推送掌机系统。

（5）现场通过移动抢修掌机充值成功，掌机系统将成功消息通知用电信息采集系统，采集系统同时通知营销业务应用系统。

2.3　电卡购电业务的技术处理

实现电费远程充值业务后，不论是远程充值，在还是柜台购电，都在营销业务应用系统缴纳电费，并根据上次购电次数将本次购电记录次数自动加 1。非电费远程充值用户购电时需要校验电卡插表标志。插表标志为“否”时，不允许购电，需要客户将电卡插入电表，将上次购电金额输入电表内才可继续购电；电费远程充值用户购电时不需要校验电表插表标志，但需要校验上次电费远程充值是否成功，校验卡表购电次数和系统购电次数是否一致。

3　应急机制

营销业务应用系统接收用电信息采集系统推送的充值结果后，更新购电单。充值成功后向客户发送充值成功短信；充值失败后，营销业务应用系统自动推送失败工单至多元化缴费运维监控平台，多元化缴费运维监控平台自动派发工单至应急掌机抢修系统，并向各单位抢修人员发送手机短信，抢修人员收到短信后，持掌机前往客户现场应急充值，解决客户

线上交费远程充值下装失败的问题，实现了远程充值应急保障。

同时，为了充分保障充值失败的应急工单处理，省级客户服务中心专门设置了督办坐席，在多元化缴费运维监控平台中根据设置时限派发督办工单，对充值异常的工单，24 小时督办各地市现场抢修人员，保障应急充值异常处理工作按时限完成。

4 应用情况

自 2017 年以来，宁夏地区普遍推广应用线上交费业务，线上交费渠道主要涵盖掌上电力、电 e 宝、支付宝、微信、翼支付等电子渠道，应用范围覆盖了宁夏下辖所有地区。至 2018 年 4 月，国网宁夏电力公司“互联网+”营销服务线上交费业务，远程充值开通 130.93 万户，开通率占全部用户的 37.09%；4 月份线上交费户数达 104.68 万户，交费金额达 2.14 亿元，线上交费率达 34.03%；电费远程充值累计充值成功率 95.85%。

在宁夏公司下辖的各级供电营业厅，基本以线上购电方式为主。同时，推广了企业客户网上交费业务，均得到用户好评与认可。

5 创新点

本项目创新点如下。

（1）基于本地费控电表的电费远程充值业务研究与应用，实现了本地费控电表电卡购电方式的电费远程充值技术，为电力企业掌上电力、电 e 宝、微信、支付宝等网上交费业务提供了前提条件，为宁夏公司互联网+营销服务工作推进发展开启了大门。

（2）营销业务应用系统缴纳电费成功后，推送充值购电单至用电信息采集系统，用电信息采集系统根据营销业务应用系统推送的购电单，将本次购电金额远程充值至客户电表内，并向营销业务应用系统推送充值结果。购电单形式的采用，在各关键系统间记录并传递了购电主要信息，实现了电费远程充值功能。

（3）远程充值失败后，营销业务应用系统自动推送失败工单至多元化缴费运维监控平台，多元化缴费运维监控平台自动派发工单至应急掌机抢修系统，通知抢修人员持掌机前往客户现场应急充值，解决客户线上交费远程充值下装失败的问题。多元化缴费运维监控平台和应急掌机抢修系统的应用，为电费远程充值业务的应用提供充分保障。

6 应用效果及意义

基于本地费控电表的线上交费业务应用效果及意义如下。

（1）充分适应社会科技发展和互联网技术应用，彻底改变了电力企业多年来营业厅人工柜台临柜交费的模式，极大地方便了电力客户用电缴费，节省了时间、空间和人力，具有极大的经济效益和社会效益。

（2）充分解放了电力企业供电营业厅售电收费人力，缓解了售电工作压力，节省了供电营业厅空间和占用率，为电力企业多维度的供电服务提供了更好环境。

（3）拓展了电力企业供电服务空间，将用电服务延伸至客户任意角落，提升了供电服务体验感，提高了服务能力。

7 结束语

本文阐述了基于本地费控电表的线上交费业务应用的内容及方法，实现了本地费控电表电卡购电方式的电费远程充值技术，彻底改变了电力企业多年来营业厅售电的人工模式，考虑了电费远程充值失败处理的应急技术保障和体系保障，具有极大的经济效益和社会效益，为电力企业互联网+营销服务工作推进与发展提供了条件。

参考文献：

[1] 国家电网. 国家电网公司关于印发智能电网支撑智慧城市发展指导意见的通知[R]. 2013.

人民邮电出版社出版

基于电子档案和 C-W 算法的电缆运维新模式

刘波，金武杰
（国网舟山供电公司，浙江 舟山 316000）

摘　要：针对 10 kV 电缆线路，介绍了一种基于电子档案的电缆线路运维新模式，通过 GPS 定位获得中间接头的位置，整理形成电子档案，并通过 C-W 算法，得出电缆线路巡视的最优路径，从而大大提高工作效率。

关键词：电缆；电子档案；C-W 算法

1　引言

为推进 10 kV 电力电缆档案资料规范化管理和信息化应用，应对电力电缆线路路径长、接头多、运维难度大的难题，本文创新性地提出，利用 GPS 定位仪、电缆路径探测仪等设备进行电力电缆基础数据普查，对电缆线路进行全面“体检”，建立健全线路电子档案，完善档案基础资料，做到辖区内所有电缆线路登记在册，所有中间接头经纬度精确定位。自 2017 年 11 月提出该方案以来，已完成辖区内所有 10 kV 电缆线路的普查工作，普查结果形成电子档案，实时更新，并录入设备（资产）运维精益管理系统（以下简称 PMS2.0）系统台账中，为今后开展 10 kV 电力电缆日常巡视、维护以及应急抢修工作提供有力保障。

2　实施背景

舟山作为国家级群岛新区、海上丝绸之路的起点，近几年经济发展迅速：鱼山绿色石化项目、朱家尖波音工厂、六横岛煤电一体化项目等一批重点投资项目相继落户舟山；普陀山、朱家尖等景区游客数量逐年增加，用电量年年攀升；2017 年迎峰度夏期间，舟山电网总负荷首次突破百万千瓦时大关。同时，舟山市政府近年来大力推进定海、普陀等旧城区改造工程，拓宽道路、美化市容。为履行“人民电业为人民”的服务理念，提升电网整体运行水平和供电质量，国网舟山供电公司主动配合旧城区改造工作，开展了架空线路落地改造。到目前为止，已完成旧城区主干道和各景观道路的架空线路拆除和新敷设电缆的投运工作。

在上述大背景下，舟山供电公司运维的电缆线路数量迅速增加。由于基础数据更新不及时，相当多数量的线路档案缺失，成为线路运维管理工作的一块短板。对于已投运的电缆线路，各运行单位普遍存在基础资料缺失、线路走向不清、线路档案管理不系统、不到位等问题，导致运维人员巡视、检修效率极其低下。旧有的电缆线路档案管理模式已经不适应如今的形势，完善电缆线路的档案管理，势在必行。

对此，国网舟山供电公司在 2017 年 11 月提出，利用 GPS 定位仪、电缆路径探测仪等设备等进行电缆普查，对电缆线路进行全面“体检”，建立电子档案，完善基础资料，并更新 10 kV 线路单线图和 PMS2.0 系统台账，提高电缆巡视、检修工作效率，提升档案管理水平。

3　创新做法

舟山供电公司自 2017 年 11 月起，开始推进电缆线路电子档案健全工作。初期，成立档案工作领导小组，举行 10 kV 电力电缆专业基础数据普查工作启动仪式。工作正式开始前，由办公室编制指导书，组织相关培训，主要包括电缆基础知识、常见故障和相关工器具的使用和档案工作职责和分工。之后，将工作任务分配至各运行班组、供电所，普查计划编制入每周工作计划中，由生技科专人负责。普查得到的数据整理形成档案汇总表，各单位每周存档后上报。

10 kV 电力电缆专业基础数据普查汇总表的统计项目主要包括：变电站名称、线路名称、电缆型号、电缆起点、电缆终点、中间接头位置（经纬度）、电缆井位置（经纬度）、中间接头序号、中间接头辅件厂商、中间接头制作时间、中间接头制作人员、电缆投运时间、中间接头制作所属工程编号、电缆井管孔总数、

人民邮电出版社出版

已用管孔数、未用管孔数、电缆标识牌是否齐全完整、井中电缆是否留有余度等。

变电站名称、线路名称、电缆型号、电缆起点、电缆终点是一条 10 kV 电缆最基本的几个属性，之前已投运的电缆中，由于基础资料维护不到位，很多线路的信息不完整，尤其是电缆型号。准确的电缆型号对于电缆故障抢修十分关键，抢修所使用的电缆附件必须与电缆型号准确对应，如果型号错误，附件与主线电缆不匹配，将会影响线路安全。

中间接头位置（经纬度）、电缆井位置（经纬度）、中间接头序号、中间接头辅件厂商、中间接头制作时间、中间接头制作人员是确定电缆中间接头属性的关键信息。据统计，在电缆线路的故障中，中间接头故障占绝大多数。电缆中间接头的制作对施工人员的工艺水平要求很高。在开展 10 kV 电力电缆专业基础数据普查前，电缆中间接头位置不确定，电缆发生故障之后，完全凭借运维人员的记忆和经验来寻找可能的故障点，效率较低，故障处理时间也相对较长。在数据普查中，通过 GPS 定位仪获取一条电缆线路所有中间接头及电缆井的经纬度，发生故障时，能够做到有的放矢，避免盲目寻找故障点，大大减少了故障修复时间。

电缆井管孔总数、已用管孔数、未用管孔数是电缆管道长期规划中重要的信息。在电缆管道敷设时，一般会留有一定数量的裕度，用于日后新敷设的线路。在掌握这些信息之后，结合工程施工的电缆管道路径图，就可以对日后的新敷设电缆有一个总体的规划，对管线路径和可使用的管孔数量做到有档案可查，可以节省现场施工前勘察的工作量和时间成本。

在项目实施的过程中，采取“落实责任、明确分工”的原则，即领导小组负责工作开展过程中的统筹协调、计划敲定和阶段性的回顾与总结；办公室负责组织相关培训，并制定数据普查和档案管理的指导书；生技科主要负责技术层面的指导和最终档案成果的汇总整理，并协调原有的生产计划和数据普查工作之间的矛盾，安排合理的工作计划；各个运行单位的供电所长、班组长是电缆普查档案工作的直接负责人，负责在各自的工作范围内有序开展数据普查工作，合理分配人员、车辆和工器具，按照计划的时间节点及时完成，并对档案数据的真实性和准确性负责。

在数据普查和档案整理的具体实施过程中，进行科学的人员分工，充分发挥员工的特长。现场工作经验丰富的老师傅和精通各种工器具操作的技术能手，负责现场的排查和记录数据；有档案工作经验、熟练使用 PMS2.0 系统的员工负责档案整理和数据的录入。此外，充分利用新进大学生作为新生力量，发挥他们的能量和干劲。可以说，科学的人员分工是档案工作得以顺利完成的坚实基础。

除了记录每条线路的地理位置分布、中间接头经纬度等信息，电缆线路档案还包括设备及隐患影像库，依照编号顺序，逐个对每条线路容易发生故障的接头位置进行拍照存档，完善设备（资产）运维管理系统 PMS，并配备详细的图片和文字说明，充实线路记录信息，对线路周围可能存在或可预见的外力破坏现象等问题都记录在档案中，并进行隐患风险评估，通过加强巡视、密切跟踪，随时更新线路的动态信息。通过现场清查，全面掌握了线路设备的实际运行状况，做到现场设备与台账、图纸相符，确保数据准确。

4 档案应用

4.1 电缆中间接头位置图构建

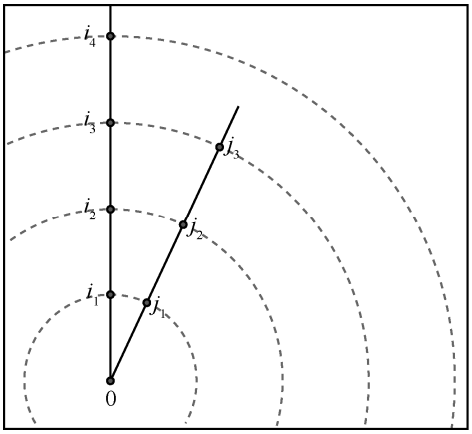
标准电缆中间接头间距为 0.5 km，目前舟山 10 kV 电力电缆长度不超过 4 km，以最简单的同一开关站引出两条线路为例，理想状态下两条电缆的中间接头应该分布于以 0.5 km、1.0 km、1.5 km 及 2.0 km 为半径的同心圆中。但事实上，由于电缆中间接头间地表状况不同，例如电缆穿过花园、河道、交通主干道等情况，电缆中间接头的相对位置呈不规则状态。范例（如图 1 所示）即典型的 i 电缆与 j 电缆形成环网的拓扑，其中 i_1 到 i_2 的实际路径因为交通原因大于其直线路径，为 3.20 km。

根据点之间的距离，求得范例的路径矩阵见表 1。

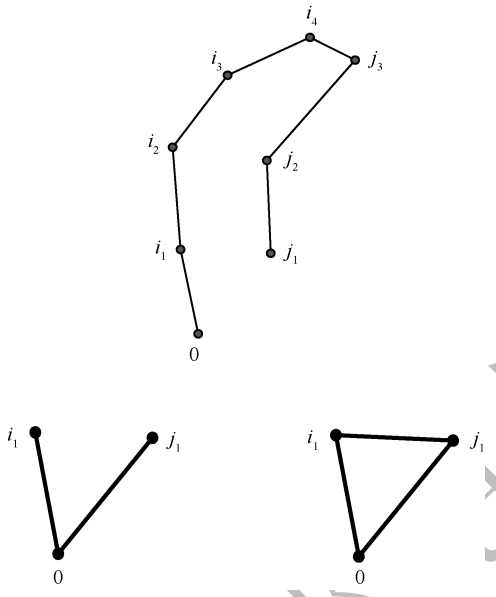
表 1 范例各点之间路径矩阵

	o	i_1	i_2	i_3	i_4	j_1	j_2	j_3
o	0							
i_1	0.48	0						
i_2	3.68	3.20	0					
i_3	4.23	3.75	0.55	0				
i_4	5.21	4.73	1.53	0.98	0			
j_1	0.60	0.49	1.03	1.59	1.47	0		
j_2	1.12	1.01	0.51	0.55	0.95	0.52	0	
j_3	1.85	4.30	1.10	1.65	0.21	1.26	0.74	0

人民邮电出版社出版



（a）理想状态中间接头分布



（b）环网电缆中间接头分布

图 1　范例

4.2　C-W 算法概述

节约法是 Clarke 和 Wright 于 1964 年提出的，是一种常用的启发式算法，经过实践应用发现节约法能够很好地解决带有各种约束的最短路问题。节约法的基本思想是：以各节点之间连线的节省距离最大为目的，将不在连线上的节点就近插入连线中，直到所有的节点都包括在内。例如，图 6 中的 i_1、j_1 两个节点。则节点之间节约值的计算式为：

$$S(i_1,j_1)=d(0,i_1)+d(0,i_2)-d(i_1,j_1) \qquad (1)$$

其中，$s(i_1,j_1)$表示节点间节省的距离；$d(o,i_1)$、$d(o,j_1)$表示节点 i_1、j_1 到起点即开关站的距离；$d(i_1, j_1)$表示中间接头 i_1、j_1 间的距离。具体的路径对比图如图 2 所示。

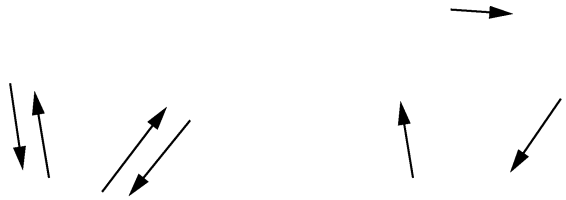


图 2　节约法原理

4.3　数学模型构建

C-W 节约算法约定：把 1 个中间接头巡视的线路（O→i_n/j_n→O）称为初始化线路，把包含 2 个或 2 个以上中间接头巡视的线路（O→…→i_n/j_n…→O）称为组合线路。

（1）定义二进制变量:

$$X(i_n,j_n)=\begin{cases}1,\text{巡视路线包括从}i_n\text{到}j_n\\0,\text{巡视路线不包括从}i_n\text{到}j_n\end{cases} \qquad (2)$$

$$i_n\neq j_n;\ \ i_n,j_n\in N$$

令 $Z_m=\sum_{i_n}\sum_{j_n}d(i_n,j_n)X(i_n,j_n)$

则路径规划目标为求式（2）表达式，使 $Z=\min\sum_m z$，$m\in N$;

同时确定约束条件，$Z_m\leqslant Z'$（Z'为巡线班组半日内最大巡线距离，一般为 10 km）。

（2）令 $M=\{s(i_n,j_n)\mid s(i_n,j_n)>0\mid n\in N\cap n\mid 0\}$

把集合 M 内的元素 $s(i_n, j_n)$按从大到小的顺序排列，令 m=1，r=1。

（3）选择集合 M 内的第 1 个元素 $s(i_n,j_n)$，考察其对应的中间接头点 i_n,j_n 是否满足下列条件之一。

①点 i、j 均在初始路线上；

②点 i、j 中有一个在其他组合线路中，另一个在初始线路上；

③点 i、j 分别位于 2 条组合线路上。

若满足则转步骤（4），另不满足则转步骤（6）。

（4）连接 i_n、j_n，计算连接 i_n、j_n 后，是否满足式(2)，若满足，转步骤(5)；否则 m=m+1，转步骤(3)。

（5）连接 i_n、j_n，线路 Z_m 增加 i_n、j_n 连接线。

（6）在集合 M 中消去 $s(i_n, j_n)$，若 M=Ø，算法终止；否则转步骤（3），继续探索线路的组合方案。

完成算法后，可以获得线路几何 $P=\{Z_m;\ m\in N\}$，所需的巡视总天数为 m/2。

人民邮电出版社

4.4 求解范例

范例的节约矩阵见表 2。

表 2 范例的节约矩阵

	i_1	i_2	i_3	i_4	j_1	j_2
i_2	0.96					
i_3	0.96	7.36				
i_4	0.96	7.36	8.46			
j_1	0.59	3.24	3.24	4.34		
j_2	0.59	4.28	4.80	5.38	1.19	
j_3	0.00	4.43	4.43	6.85	1.19	2.23

根据第 3.4 节的算法，对节约值进行排序，并规划节约算法路径后填入路径顺序，见表 3。

表 3 路径顺序

序号	路线	节约里程/km	路径顺序
1	i_3-i_4	8.46	5
2	i_2-i_3	7.36	6
3	i_2-i_4	7.36	
4	i_4-j_3	6.85	4
5	i_4-j_2	5.38	
6	i_3-j_2	4.80	
7	i_3-j_3	4.43	
8	i_2-j_3	4.43	
9	i_4-j_1	4.34	
10	i_2-j_2	4.28	7
11	i_3-j_1	3.24	
12	i_2-j_1	3.24	
13	j_2-j_3	2.23	3
14	j_1-j_2	1.19	2,8
15	j_1-j_3	1.19	
16	i_1-i_2	0.96	
17	i_1-i_3	0.96	
18	i_1-i_4	0.96	
19	i_1-j_1	0.59	1
20	i_1-j_2	0.59	
21	i_1-j_3	0.00	

最终获得的路径顺序为 o→i_1→j_1→j_2→j_3→i_4→i_3→i_2→j_2→j_1→o，总长度为 5.59 km，（少于半日最大巡视距离，不用划分为 2 条线路）。相比现有的巡完 i 线路后巡视 j 线路，多了 i_1→j_1 和 j_2→j_1 两条路径，少了 i_1→i_2，比原方案的 7.27 km 减少 1.68 km。

5 创新成效

自 10 kV 电力电缆专业基础数据普查和档案整理工作开展 6 个月以来，舟山供电公司已完成全部 10 kV 电缆线路的数据普查与档案整理。共排查 10 kV 电缆线路 214 条，共测得电缆中间接头经纬度 750 个，均已录入设备（资产）运维管理系统 PMS，作为线路信息的补充。整理各单位普查结果，建立电缆信息档案，由各运行单位、生技科共同保存，并进行数据更新。

电子档案建立之后，电缆线路运维管理水平显著提升。由于隐患档案信息库的建立和巡视路径的科学规划，运维人员巡视一条线路平均时长由 3.5 h 缩短至 2.5 h，用时减少近 30%；已完成隐患消缺 76 处，其中电缆窨井盖板缺陷 42 处，电缆无标识牌 34 处；已进行 1 次电缆中间接头故障紧急处理，定位故障点所用时间明显缩短。

如今，所有 10 kV 电缆主线已完成排查和定位，相当于疏通了配网供电网络的“主动脉”。下一步将进行排查各个电缆分支线，站所与站所、站所与用户之间的线路，即供电网络的“毛细血管”。脉络全部疏通，记录形成档案，确保电力供应健康平稳。

10 kV 电力电缆专业基础数据普查和档案整理工作也具有十分深远的推广意义，得到社会各界和上级部门的一致肯定，作为创新典型和先进经验被舟山晚报、定海新闻电视台、定海新闻网、浙江省电力有限公司网站及手机报等多家媒体报道。

下一步，将对本项电缆普查和档案整理工作进行进一步挖掘，形成 QC 成果和青年创新创意大赛项目，充分发挥其在提升运维质量、服务水平和运行指标方面的作用。

人民邮电出版社出版

基于定位技术的信息管理系统的研发

黄向东，权重民
（中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司，陕西 西安 710065）

摘　要：探讨了在开放、半开放式施工现场，综合应用卫星定位技术、物联网技术、智能识别技术、数据通信技术、地理信息系统等信息技术，对施工人员和施工机械进行有效管理的方法，介绍了基于上述技术的工程建设项目信息管理系统的基本原理、设备连接拓扑图、位置信息获取方案、系统功能，简要介绍了该信息管理系统在两个工程建设项目的实施效果。该信息管理系统为提高工程建设项目管理水平和效率、降低管理成本的企业提供了借鉴。

关键词：卫星定位；基站定位；Wi-Fi 定位；管理信息系统

1　引言

在工程建设项目施工过程中，为了保证施工区域内外不会互相干扰，传统的管理方法是在施工区域的边界建立临时性的围挡，并预留若干个出入口，在这些出入口建立管理措施，如门卫、智能化门禁、智能化匣机等，管理者通过这些管理措施很容易准确获得施工区域的人员/施工机械的数量和类别、进出时间等信息，同时阻止了非施工人员进入施工区域。

随着国内基础设施建设的不断深入开展，近年来许多城市开始重视并实施城市及周边区域的水环境治理工程、海绵城市工程、综合管廊工程的建设。这些工程建设项目有一个特点是施工区域较为分散，可能深入城市的大街小巷，渗透到居民的日常生活区域，基本上属于开放式、半开放式。因此，通常无法完全采用建立临时性围挡等传统的管理措施来实现对施工人员/施工机械的有效管理。利用当前快速发展的卫星定位技术、物联网技术、智能识别技术、数据通信技术、互联网技术、地理信息系统等信息技术手段，探索出一整套对这类工程建设项目的施工人员/机械进行有效管理的解决方案，以提高工程建设项目的精细化管理水平和效率，已然成为信息技术应用工作者面临的一项挑战。

2　系统建设方案

2.1　系统原理

2.1.1　定位技术简介

目前基于位置的常用定位方法主要有：卫星定位、基站定位、Wi-Fi 定位、蓝牙定位等。

- 卫星定位是采用覆盖全球的多颗卫星组成的卫星系统，在地球上终端设备获取 4 颗或者以上卫星的信号，通过这些卫星的方位、高度、与终端设备的距离等数据计算出终端设备所处的经纬度、高程等信息，实现对终端设备的定位。
- 基站定位一般应用于手机用户，手机基站定位服务又叫作移动位置服务（location based service，LBS），它是通过中国电信、中国移动等运营商的网络（如 GSM 网）及其信号强度计算出移动终端用户的位置信息（经纬度坐标）。
- Wi-Fi 定位是采用在 Android、iOS 和 Windows Phone 等智能手机操作系统中内置位置服务实现的，由于每一个 Wi-Fi 热点都有一个独一无二的 MAC 地址，智能手机开启 Wi-Fi 后就会自动扫描附近热点，并上传其位置信息。
- 蓝牙定位是采用蓝牙技术，通过在室内部署适当的蓝牙局域网接入点，配置多用户的基础网络连接模式，之后汇总建筑物的位置数据的室内定位数据，通过计算来实现定位。

上述定位方法各有其优缺点，读者可以根据其优缺点和实际应用情况择优采用一种或多种。

2.1.2　人员或者机械定位获取

通过卫星定位、基站定位、Wi-Fi 定位获得的位置信息，通常分手动和自动两种方式向服务器端发送，其间的通信链路可选择中国电信等运营商的无线网络、ZigBee/Lora 网络接入互联网。在系统建设过程中，根据不同使用人员、使用不同的设备，系

水电出版社出版

统考虑采用手动/自动的不同方式。对于工程施工作业人员，由于通常信息化水平参差不齐，而且他们在作业过程中不可能再对设备进行操作，因此通常采用自动方式；施工机械通常也是采用自动方式；其他人员则可以根据智能手机的使用频度、经济性、整个工程对其管理要求等方面在自动和手动两种方式中进行选择。

2.1.3 信息展示方式

由于需要展示位置信息这类核心数据，根据实际应用的特点，采用传统的信息展示方式（例如对某一时间段的数据进行查询、过滤、分析、统计，最后生成图、表等，向包括工程建设项目管理者在内的用户进行展示）已经无法满足要求。为此借助地理信息系统（geographic information system，GIS）的原理和方法来综合展示信息：一方面将数据通过直观的方式展示在二维/三维地图上，如施工人员/机械的位置显示、运动轨迹显示等，另一方面还为用户提供必要的交互查询，如框选地图上某一区域，获取在该区域的施工人员/机械的数量，输入某一行政区划以获取在该区域的施工人员/机械的数量等。因此，本系统既采用了常规的查询、过滤、分析、统计的方式来展示信息，也利用了地理信息系统特有的位置查询分析方法来展示信息。

2.2 系统设备连接拓扑图

系统建设过程中，涉及的硬件和设备采用如图 1 所示的方式进行连接，其中涉及的定位方式综合利用了卫星定位、LBS 定位、Wi-Fi 定位技术。

2.3 位置信息获取方案

从图 1 可见，系统建设过程中，至少采用了 4 种方案获取终端的位置信息，以达到施工人员和机械管理的目标。

2.3.1 定制可安装在安全帽的设备定位

安全帽是工程建设项目施工者的必须佩戴装备。利用安全帽加装定制的定位设备（如图 2 所示）采用卫星/基站/Wi-Fi 定位功能，获取设备当前位置信息，通过网络传输至数据中心，实现对施工者的定位管理。该方案易于安装、携带，既支持施工人员的使用，也支持施工机械的使用；并且该方案具有信息自动获取、发送的功能，几乎不影响施工人员/施工机械的正常作业，因此是一种最为稳定可靠的位置信息获取方案。该方式的主要缺点是设备费用投入较大，运行期间还需要产生一定的无线通信流量费。

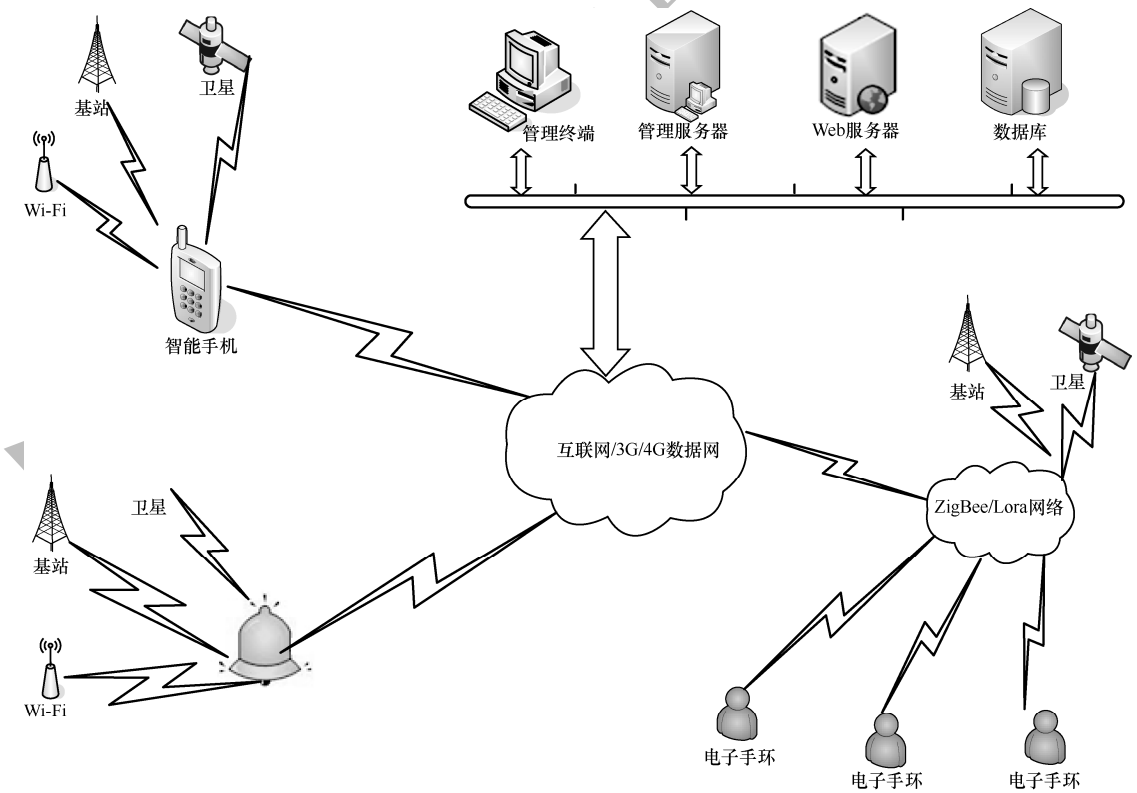


图 1 系统连接方式

电力行业出版

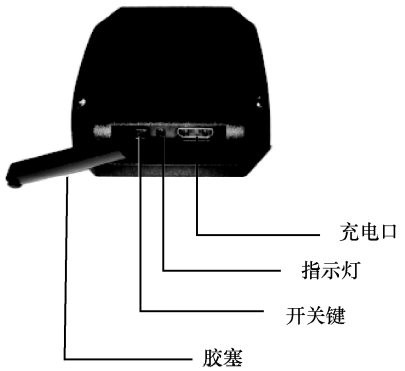


图 2　安全帽加装定位设备

2.3.2　智能手机 App 定位

施工人员通过下载并安装定制开发的手机 App，开启卫星/基站/Wi-Fi 定位功能，利用手机 App，获取当前位置的详细信息，通过网络传输至数据中心，以实现当前所在位置信息的自动获取。该 App 可以设定间隔一定时间后自动发送定位信息，也可以关闭自动发送功能，改为手工发送定位信息。该方案的主要缺点是定位信息自动发送受手机操作系统的干扰较大，手工发送为使用带来一些不便，通常仅支持施工人员的使用。

2.3.3　电子手表定位

利用定制或者成熟的具有定位功能的手表进行定位。施工人员佩戴该手表，通过电子手表获取卫星/基站/Wi-Fi 定位信息，而位置信息通过网络传输至数据中心，以实现当前所在位置信息的自动获取。这种方式若使用商品化的手表则无需再定制开发专用设备，同时也具有稳定可靠的特点。该方案的主要缺点是让施工人员佩戴手表通常会影响其正常作业，手表也容易遗失或者损坏；同时需要投入一定的设备费用，但费用较第一种方案略低，运行期间也需要产生一定的无线通新流量费。

2.3.4　读卡器和门禁卡结合定位

对于施工范围相对固定的场地，可以利用门禁卡系统进行定位，通过施工人员刷门禁卡后获取人员刷卡信息，同时将读卡器所在的位置信息一并通过网络传输至数据中心，以实现当前所在位置信息的获取。该方案的特点是终端设备无需充电，成熟可靠，造价低廉，易于实施。但是若施工人员到其他作业区，则必须在新作业区再次刷卡，因此这种方案属于半自动的位置信息获取方案。

2.3.5　基站和 RFID 标签结合定位

该方案类似于“读卡器和门禁卡结合定位”方案，区别在于施工人员无须进行刷卡。但由于 RFID（radio frequency identification，射频识别）标签被基站（或者读卡器）识别的距离有限，通常仅 50~300 m，若大面积推广需要建立很多基站（基站之间可采用 ZigBee/Lora 方式进行组网），最终将导致初始造价特别昂贵，此外解决基站的供电也是一大难题，故难以大范围实施。

2.3.6　其他方案

此外，中国电信的“中国电信外勤助手系统”、中国联通的“位置通：外勤管家系统”等均具备位置信息自动获取的功能。但这类系统属于运营商专用系统，一般不对公众开放，而且使用这类系统的前提是必须使用支持运营商通信网络的智能手机，并且所有持智能手机的用户必须与其签署位置隐私可被提供给第三方的协议，因此一般企业实施起来难度很大。

2.4　系统主要功能

2.4.1　施工项目管理

施工项目管理主要是实现工程建设项目基本信息的管理功能。工程项目基本信息包括工程项目的属性信息（如项目编号、项目名称、所属标段、项目负责人、项目所在区域、项目工程量等）、与工程建设项目相关的文档等。

本模块实现了添加、删除、修改、查询、Excel 导出、打印等基本管理功能。在实现这些管理功能期间，系统还需解决与工程项目相关联的标段、施工人员、施工机械等信息匹配、关联问题。

2.4.2　施工人员管理

施工人员管理主要实现施工人员属性信息（如身份证号、姓名、性别、年龄、联系电话、工种、所属项目、所属标段等）的管理和施工人员的角色管理功能。

在施工人员属性信息管理中，本模块实现了施工人员的添加、删除、修改、查询、Excel 导出、打印等基本管理功能。在施工人员的角色管理中，系统根据需要对施工管理人员、工段管理人员、安全管理人员等角色进行添加、删除、修改、查询、Excel 导出等基本管理功能，并将这些角色与施工人员进行关联。

2.4.3　施工机械管理

施工机械管理与施工人员管理的功能类似，区别在于施工机械不再具有角色的属性或者功能。

2.4.4　定位设备管理

定位设备管理提供定位设备验收入库管理，定位

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

设备属性的添加、删除、修改、查询管理，定位设备的状态管理（新购、启用、停用、失效、丢失、报废等）、挂失管理、归还管理。

2.4.5 设备绑定管理

设备绑定管理实现定位设备与使用人员的绑定和解绑定、手机 App 与使用人员的绑定和解绑定、电子手表与使用人员的绑定和解绑定、基站与电子标签的绑定和解绑定、电子标签与使用人员的绑定和解绑定等功能。

2.4.6 定位结果展示

定位结果展示将人员/机械的位置信息、运动轨迹形象化地展示在电子地图上，单击电子地图上的基站或者人员/机械图标，可立即以“气泡”方式显示出基站或者人员/机械的详细信息；输入基站或者人员/机械的编号、名称，在电子地图上可以醒目的方式显示出其所在的位置；输入某一时间段，在电子地图上可显示出这一时间段施工人员/施工机械的历史运动轨迹，从而帮助管理者实现设备、人员的监控管理和调度。

2.4.7 查询和统计

查询和统计提供详细的查询和统计方式：按对象的属性信息进行查询和统计；单击项目的树状结构（省/项目/标段/班组）进行查询和统计；在电子地图上单击对象图标或者框选某一区域进行查询和统计；按时间段进行查询和统计；按时间段、人员属性、项目、标段、设备使用情况等组合进行数量统计；统计各类设备的使用情况；各类在用设备的电量情况统计；各类设备在各个项目、各给定时间段的分布情况统计；各类在用设备在各个项目、各给定时间段的分布情况统计；按项目属性进行设备数量统计等。

2.4.8 系统运维管理

系统运维管理是后台管理模块，系统管理员可通过此模块获取硬件设备的运行状态信息，以此向相关人员就硬件设备及时充电、更换、维修等进行提醒。

3 应用效果

为实现系统功能定制开发了系统前端定位设备，定位信息实现自动化采集。定位设备是专门设计定制的，与目前市面上类似的设备相比，具有外型小巧美观、工作时间长、安装方式紧贴工程建设项目需要、仅需充电即可使用、防水防尘防震防泥满足施工工地要求、参数配置方便、维护简捷、产品稳定可靠、应用范围较广、使用门槛低、经济实用等优点。

系统所需的位置信息自动采集到私有云平台。通过定制开发的软件，解决了定位数据定时读取问题，并自动通过广域网传输到通用数据库管理系统中保存，整个过程的实现自动化完成，在软硬件的成熟度方面满足大规模推广应用的条件。由于信息存储在企业私有云平台上，而非存储在公有云平台上，可较好地满足企业的网络与信息安全要求。

通过系统实现了位置信息在 GIS 中可视化展示。将各类信息特别是施工人员和机械的位置信息在地理信息系统中实时展示，可视化程度高，可有效提升企业的管理工作效率，降低管理成本，增强工程建设企业的核心竞争优势，受到业主和工程管理人员的欢迎。

系统方案已经完成了两个工程建设项目的试点实施。这两个工程建设项目分别是茅洲河流域（宝安片区）水环境综合整治项目、汉中市兴元新区水系工程项目。其中，前者综合试点实施了可安装在安全帽的设备定位、智能手机 App 定位、电子手表定位、读卡器和门禁卡结合定位、基站和 RFID 标签结合定位等众多方案；后者主要试点实施了可安装在安全帽的定位设备。两个工程建设项目均根据业主的不同要求开发了基于 GIS 的信息管理系统，目前系统运行稳定正常。

通过本系统所述方案的成功实施，不仅实现了在开放式、半开放式工程建设项目的施工人员/施工机械等目标的实时定位管理功能，而且为探索开展目标越界监测预警、远程签到管理、电子围栏应用、目标活动行为分析、远程工作简报等延展性应用的众多中小企业提供了一套完整的解决方案，为致力于提高工程建设项目管控水平和效率、降低管理成本的企业提供了借鉴。

4 结束语

利用当前快速发展的卫星定位技术等信息技术手段，辅助解决开放、半开放工程建设项目施工区域中施工人员/施工机械的定位等方面的管理，是一种可行的方案，值得进一步深入探讨和完善，同时还可据此开展更为延展性的应用。

本文所列的各种位置信息获取方案各有优缺点，实际实施过程中应根据业主方的需求，在易用性、稳定可靠性、信息是自动或者手动发送、经济性等方面进行综合评估比选，以期达到预期目标。

要较好地通过卫星定位等技术来实现工程建设项

人民邮电出版社出版

目的施工人员/施工机械的定位管理，开发一套信息管理系统是必不可少的，而且地理信息系统被认为是形象化展示各类目标对象的优选工具。

参考文献：

[1] 姚剑琴. 基于 GPS 技术的定位监控系统[J]. 制造自动化, 2012(4): 50-52.

[2] 李晓春, 张芸. 利用智能手机传感器建立室内定位指纹库的 Wi-Fi 指纹定位方法[J]. 网络与信息工程, 2017(3) :81-82.

[3] 张静, 魏振刚. Wi-Fi 室内定位相关技术研究[J]. 中国科技信息, 2017(23).

[4] 李晗. 基于物联网的无线车辆管理系统设计与实现[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2011.

[5] 郑人杰, 殷人昆, 陶永雷. 实用软件工程（第二版）[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.

人民邮电出版社出版

基于改进支持向量机的电费回收风险预警

仲春林，郑飞，邵俊，李昆明，方超
（江苏方天电力技术有限公司，江苏 南京 211102）

摘 要：电力用户电费回收风险是电力企业运营中面对的难题，数据挖掘技术可以通过对海量用户用电、缴费、欠费数据的分析和研究，实现电费回收风险的预警。首先基于用户的基本信息、缴费行为、违约行为 3 方面的电费回收风险标签，建立了电费回收风险预警模型；并且，考虑到支持向量机算法的惩罚因子 C 和 RBF 核参数 g 的选择直接关系到用户逾期与否的准确率，提出了一种引力搜索算法改进支持向量机算法，用于求解电费回收风险预警模型。算例结果表明本文设计的标签体系和预警模型能够准确、真实地反映电费回收风险的实际情况，提出的改进算法能够有效地提高逾期用户的识别准确率，可以有效地预警电力用户电费回收风险。

关键词：电费回收风险；支持向量机；引力搜索算法；标签体系

1 引言

近年来，国网公司为实现营销安全的“可控、能控、在控”，根据现代风险管理理论，建立了营销安全风险防范与管理体系，提高了对营销安全风险的识别和预警防范能力。但是，随着我国经济进入新常态，国家供给侧改革和电力体制改革的逐步深入，给供电企业的电费回收带来了新的挑战。各供电公司虽然通过后付费、分次划拨、购电制、预付费等多种结算方式避免电费回收风险，但由于客户信息不充分、信用体系不健全和风险评估能力不足，难以有效评价大客户履约能力，无法科学、全面地对客户进行有效细分，实施差异化的交费模式管理，有效降低电费回收风险。

目前，大量的营销业务专家、科研院所学者开展了电费回收风险相关的研究工作，取得了一定的成效。参考文献[3-4]针对特定人群提出了电费回收风险分析和防范策略研究，参考文献[5-6]通过建立信用评价体系防范电费回收风险，参考文献[7-8]采用数据挖掘算法实现了客户电费回收风险预警。

本文基于用户档案、用电、缴费等信息，建立涵盖用户用电特征、缴费行为、违约行为等方面的电费回收风险标签体系；基于标签体系[9-10]，利用支持向量机算法实现了用户电费回收风险预警，并采用引力搜索算法[11-12]优化支持向量机[13-14]算法参数，进一步提高了风险预警的准确率。算例分析结果表明本文提出的模型和算法均具有较高的可用性和准确性，能够为电力企业降低电费回收风险提供依据。

2 指标定义

电力大客户电费回收风险受其所在行业背景、自身实力、经营能力等多重因素影响，因此，本文基于电力内部的电量、电费、违约用电等数据，结合外部的工商、税务、法院信息，建立了电力大客户的电费回收风险指标体系，见表 1。

3 算法原理

电力用户电费回收风险预警的目标是预测未来一段时间内用户是否有欠费风险，是典型的二分类问题，目前比较流行的分类算法有 Logistic 回归[7]、随机森林[8]、决策树[9]等。

3.1 支持向量机

支持向量机[10-11]是一种基于结构风险最小化原理的机器学习方法，具有较好的泛化学习能力，目前广泛应用于处理预测和分类问题。

首先，在进行分类问题处理时，对于训练集 $T=\{(x_1,y_1),\cdots,(x_n,y_n)\}$，建立以下的线性函数：

$$f(\boldsymbol{x})=\langle \boldsymbol{\omega},\boldsymbol{\phi}(\boldsymbol{x})\rangle+b \tag{1}$$

其中，$\boldsymbol{x}=[x_1,\cdots,x_n]$，$\boldsymbol{\phi}(\boldsymbol{x})$ 为非线性映射函数，$\boldsymbol{\omega}$ 为非线性映射函数的权重系数，b 为偏置量。

定义如下的 ε 线性不敏感损失函数：

$$L_\varepsilon(f(\boldsymbol{x}),y)=\max\{|f(\boldsymbol{x})-y|-\varepsilon,0\} \tag{2}$$

人民邮电出版社出版

表 1　电费回收风险指标

一级维度	二级维度	三级维度	数据来源
行业背景	行业发展	行业产能增长率	用电数据
		行业产能利用率	用电数据
	行业地位	企业产能利用率在行业中的水平	用电数据
		企业用电量在行业中的水平	用电数据
企业实力	企业股东背景	企业类型	工商登记信息
		股东组成	工商登记信息
		核心股东类型	工商登记信息
		核心股东出资比例	工商登记信息
	资本实力	注册资本	工商登记信息
		实缴资本	工商登记信息
	商标专利	著名/驰名商标总数	知识产权数据
		专利总数	知识产权数据
经营能力	员工及分支机构	员工总人数	工商登记信息
		分支机构数	工商登记信息
	盈利能力	最近一年资产回报率	纳税信息
		净利润率	纳税信息
		企业产能利用率	用电数据
	生产稳定性	每月应收电费金额波动性	用电数据
		每月用电量波动性	用电数据
	经营时长	成立时长	工商登记信息
企业信用	异常信息	企业涉诉被执行记录	法院信息
		企业经营异常	工商登记信息
		行政处罚	工商登记信息
	缴费行为	缴费频率稳定性	用电数据
		客户余额使用时长	用电数据
		客户欠费记录	用电数据
	违规行为	客户窃电行为	用电数据
		客户违法用电行为	用电数据
生产状态	电量数据	去年用电量增长情况	用电数据
		前年用电量增长情况	用电数据
		年度客户用电量同比增长率	用电数据
		近一年累计拖欠电费数量	用电数据
	电费数据	近半年月均电费	用电数据
		近一年月电费谷值	用电数据
		近一年电费回收准时度	用电数据

人民邮电出版社出版

根据结构风险最小化模型，可以将上述函数转化为最优化问题：

$$\begin{aligned}&\min\frac{1}{2}\|\boldsymbol{\omega}\|^2+C\sum_{i=1}^{m}\left(\xi_i+\xi_i'\right)\\&\text{s.t.}\quad y_i-f(x_i)\leqslant\varepsilon+\xi_i\\&\qquad f(x_i)-y_i\leqslant\varepsilon+\xi_i'\\&\qquad \xi_i\geqslant 0,\xi_i'\geqslant 0\end{aligned}\tag{3}$$

其中，ξ_i和ξ_i'为松弛变量，C为惩罚因子，其值大小代表着对训练误差大于ε的样本的惩罚力度。

通过对偶原理和拉格朗日乘子法构建二次规划模型：

$$\begin{aligned}&\min\frac{1}{2}\sum_{i,j=1}^{m}\left(\alpha_i'-\alpha_i\right)\left(\alpha_j'-\alpha_j\right)K(\alpha_i,\alpha_j)+\\&\qquad\varepsilon\sum_{i=1}^{m}\left(\alpha_i'+\alpha_i\right)-\sum_{i=1}^{m}y_i\left(\alpha_i'-\alpha_i\right)\\&\text{s.t.}\quad\sum_{i=1}^{m}\left(\alpha_i'-\alpha_i\right)=0\\&\qquad\alpha_i'\geqslant 0,\alpha_i\leqslant C\end{aligned}\tag{4}$$

其中，α_i'、α_i为拉格朗日乘子，$K(\alpha_i,\alpha_j)$为核函数，比较常见的核函数有多项式函数、径向基函数等。这里选取径向基函数$\exp\left(\|\boldsymbol{x}-\boldsymbol{x}_i\|^2/2\delta^2\right)$作为 SVM 的核函数。

求解二次规划模型即可得到α_i'、α_i，而偏置量b可以采用 KKT 条件进行求解。至此可以得到回归函数：

$$f(x)=\sum_{i,j=1}^{m}\left(\alpha_i-\alpha_i'\right)K(x_i,x)+b\tag{5}$$

3.2 引力搜索算法

引力搜索算法是受万有引力和牛顿第二定律启发形成的一种群智能算法，它于 2009 年由 Rashedi E 等提出。其核心思想如下：

- 种群中每个个体相互吸引，个体的目标函数越优，则其质量越大，因此对其他个体的引力也越大；
- 多个个体相互吸引，每个个体都受到来自其他所有个体的引力，各个体由于其他个体吸引产生的合力而加速运动，从而使种群个体在解空间内搜索最优解。

基于上述核心思想，假设在D维空间中存在N个个体$X_i=(x_{i1},x_{i2},\cdots,x_{iD})$，下标$i=1,2,\cdots,N$。在$t$时刻个体$i$、$j$之间的引力为：

$$F_{ij}^d(t)=G(t)\frac{M_i(t)\times M_j(t)}{R_{ij}(t)+\varepsilon}(x_j^d(t)-x_i^d(t))\tag{6}$$

其中，$G(t)$为t时刻的万有引力常数，它随着时间发生变化。$M_i(t)$、$M_j(t)$分别为个体i、j在t时刻的质量，$x_i^d(t)$表示个体i的第d个分量，ε为较小的常量，用于确保除数不为 0。$R_{ij}(t)$为个体i、j在t时刻的距离，一般用欧氏距离衡量。

个体所受合力为：

$$F_i^d(t)=\sum_{j=1,j\neq i}^{N}r_0\bullet F_{ij}^d(t)\tag{7}$$

其中，r_0为 0~1 之间的随机数。

根据牛顿第二定律可得个体在t时刻的加速度：

$$a_i^d(t)=\frac{F_i^d(t)}{M_i(t)}\tag{8}$$

在 GSA 中，个体的质量由其适应值求得：

$$m_i(t)=\frac{f(t)_i-f_{\text{worst}}(t)}{f_{\text{best}}(t)-f_{\text{worst}}(t)}\tag{9}$$

$$M_i(t)=\frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^{N}m_j(t)}\tag{10}$$

可见粒子的适应值越接近最优值，其质量就越大，对其他粒子的吸引力也就越大。

个体的速度更新公式如下：

$$v_i^d(t+1)=\text{rand}\times v_i^d(t)+a_i^d(t)\tag{11}$$

则可得t时刻个体的位置更新情况：

$$x_i^d(t+1)=x_i^d(t)+v_i^d(t+1)\tag{12}$$

4 模型求解

对于 SVM 而言，惩罚因子C和 RBF 核参数g的选择关系到预测的精度，因此有学者提出了网格搜索法进行C、g参数的寻优，但是该方法计算量过大，不利于提高负荷预测的计算效率。近年来，蚁群算法、遗传算法等群体智能算法相继被应用于 SVM 的参数优化，也取得了一定的成果。

GSA 改进 SVM 求解电费回收风险模型的流程如图 1 所示。

步骤 1 以 SVM 的初始惩罚因子C和 RBF 核参数g为个体属性，设定 GSA 的种群大小N、万有引力常数G_0、最大种群代数$K_{\max}$，置种群迭代次数k=0。

人民邮电出版社出版

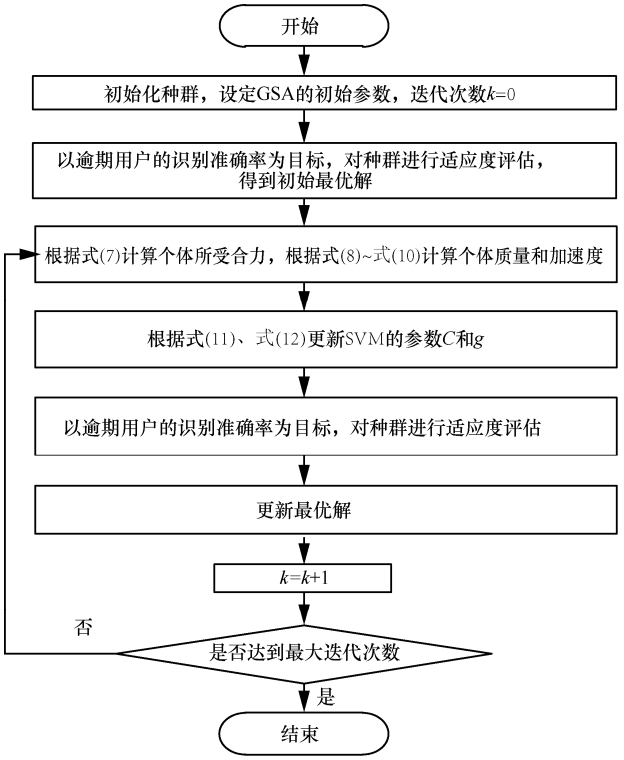


图 1　GSA 改进 SVM 求解电费回收风险模型的流程

步骤 2　以逾期用户的识别准确率为目标，采用 SVM 对种群进行适应度评估，得到初始最优解。

步骤 3　根据式(7)计算个体所受合力，式(8)~式(10)计算个体质量和加速度。

步骤 4　根据式(11)、式(12)更新 SVM 的参数 C 和 g。

步骤 5　以逾期用户的识别准确率为目标，采用 SVM 对种群进行适应度评估。

步骤 6　根据每个适应度评估结果，更新当前最优个体和最优解。

步骤 7　置种群代数 $k=k+1$，判断是否达到最大种群代数，如果没有达到，则返回步骤 3，否则转步骤 7。

步骤 8　结束寻优，输出逾期用户识别率及相应的参数 C 和 g。

5　算例分析

为了验证本文提出的电费回收风险评估的准确率和算法的高效性，以某地区电网电力用户为例，进行算例分析。

选取某地区 3 039 户数据为数据集，以其中的 2 839 户为训练集，进行电费回收风险模型训练；剩下的 200 户作为测试集，用于验证模型的有效性和准确率。

由于电费回收风险评估中，用户尤其是大工业用户未按时缴费会给电力公司带来较大的经济损失，因此对发生欠费用户的分类准确性显得更加重要。在这样的前提下，分类结果为不能仅仅以分类准确率为判定算法优劣的依据，所以本文引入覆盖率和命中率指标，用于验证算法的可用性和有效性。覆盖率用于表征欠费用户是否全部识别，其数值越高，代表识别出的欠费用户越多，也越能降低电力企业的电费回收风险；命中率用于表征计算出的欠费用户是否全部为真实欠费用户，其数值越高，电力企业越能精确开展用电稽查，打击欠费用户，而其数值越低，电力企业的稽查准确性也越低。覆盖率和命中率计算式如下：

$$P = N_{\text{cal_cor}} / N_{\text{real}} \tag{6}$$

$$R = N_{\text{cal_cor}} / N_{\text{cal}} \tag{7}$$

其中，N_{real} 为实际发生欠费的用户数量，N_{cal} 为计算得到的欠费用户数量，$N_{\text{cal_cor}}$ 为 N_{real} 与 N_{cal} 的交集，也即计算得到欠费用户中实际发生欠费的用户数量。

从分类准确率、查全率和查准率 3 个角度评估算法的有效性，分析结果见表 2。

表 2　算法准确性比较

序号	分类算法	分类准确率	覆盖率	命中率
1	LR	95.5%	90.0%	52.94%
2	SVM	96.0%	90.0%	56.25%
3	GSA-SVM	97.0%	100.0%	62.50%

（1）在分类准确率方面，GSA-SVM 决策树算法在 3 种算法中最高；

（2）在覆盖率方面，GSA-SVM 决策树算法命中了全部 10 户逾期用户，在所有算法中覆盖率最高。

（3）在命中率方面，GSA-SVM 决策树算法同样最高，为 62.5%。

可见，与支持向量机、逻辑回归等主流算法相比，GSA-SVM 分类准确率更高。而且分类结果表明，本文设计的预警模型能够准确、真实地反映电费回收风险的实际情况，可以有效地实现电力用户电费回收风险的预警。

6　结束语

基于用户的基本信息、缴费行为、违约行为 3 方

人民邮电出版社出版

面的电费回收风险标签，建立了电费回收风险预警模型，考虑到支持向量机算法的惩罚因子 C 和 RBF 核参数 g 的选择直接关系到用户逾期与否的准确率，提出了一种基于引力搜索算法改进支持向量机算法，用于求解电费回收风险预警模型，算例结果表明本文设计的标签体系和预警模型能够准确、真实地反映电费回收风险的实际情况，提出的改进算法能够有效地提高逾期用户的识别准确率，可以有效地预警电力用户电费回收风险。

参考文献：

[1] 维克托•迈尔-舍恩伯格，肯尼斯•迈克耶. 大数据时代: 生活、工作与思维的大变革[M]. 周涛, 译. 杭州: 浙江人民出版社, 2013: 1-23.

[2] 中国电机工程学会信息化专委会. 中国电力大数据发展白皮书(2013)[S]. 北京: 中国电机工程学会, 2013.

[3] 王庆娟, 张维, 吕诗宁, 等. 出租房客户定位分析及电费回收策略[J].电力需求侧管理, 2017, 19(6): 45-48.

[4] 郑频, 王硕. 面向电力大客户的精益化营销管理实践及效益[J]. 电力需求侧管理, 2011, 13(3): 61-63.

[5] 王绵斌, 谭忠富, 张蓉, 等. 供电企业规避电费回收风险的客户信用评价方法[J]. 华东电力, 2007, 35(1): 21-25.

[6] 董玲娟, 赵罡, 郑晨泉, 等. 构建客户信用等级评价和决策的电费风险管理系统[J]. 电力需求侧管理, 2009, 11(6): 61-63.

[7] 涂莹, 林士勇, 欧阳柳, 等. 基于市场细分的逻辑回归模型在电费回收风险预测中的应用研究[J]. 电力需求侧管理, 2016, 18(4): 46-49.

[8] 陈羽中，郭松荣，陈宏，等. 基于并行分类算法的电力客户欠费预警[J]. 计算机应用, 2016, 36(6): 1757-1761.

[9] 刘海，卢慧，阮金花，等. 基于“用户画像”挖掘的精准营销细分模型研究[J]. 丝绸, 2015, 52(12): 37-42, 47.

[10] 曾鸿，吴苏倪. 基于微博的大数据用户画像与精准营销[J]. 现代经济信息, 2016, (24): 306-308.

[11] 钟映红，朱素群. 基于引力搜索算法的电力系统无功优化[J]. 广东电力, 2013, (12): 110-115.

[12] 陈功贵，刘利兰，郭艳艳，等. 基于改进引力搜索算法的无功优化仿真研究[J]. 实验技术与管理, 2016, (5): 113-116, 120.

[13] 丁世飞，齐丙娟，谭红艳，等. 支持向量机理论与算法研究综述[J]. 电子科技大学学报, 2011, 40(1): 1-10.

[14] 张学工. 关于统计学习理论与支持向量机[J]. 自动化学报，2000, 26(1): 32-42.

人民邮电出版社出版

基于古诺模型的能源互联网电能产品定价与交易模型研究

陈绍真[1,2]，王俊生[1,2]，伍燕[1,2]
（1. 国网电子商务有限公司（国网雄安金融科技集团有限公司），北京 100053；
2. 国家电网有限公司电力金融与电子商务实验室，北京 100053）

摘　要：当前能源互联网遇到了所需投资资金缺口增大、交易定价机制发展滞后等一系列阻碍其发展的问题，而区块链技术的发展使得解决能源互联网这些难题成为可能。根据能源互联网的现实状况和未来的发展需要，论述了以区块链技术解决能源互联网发展中所遇到的上述问题的可行性，提出将区块链技术应用于能源互联网定价交易模型中，实现能源电力由产品向资产的转换。通过建立基于区块链技术的智能合约机制，赋予电力产品以金融属性，并提出相应的定价和交易模型，以期为能源互联网的发展提供有益参考。

关键词：光伏金融；剩余市场；能源互联网；古诺均衡

1　引言

区块链（block chain）技术是一种分布式信息共享机制技术的简称，具有去中心化、公开透明等特征[1-2]。自从基于区块链技术的比特币诞生后，随着对其技术理解和概念发掘的不断深入，区块链技术应用领域随之不断拓宽，特别是作为一种创新技术，在何种场景下获得有效使用，才是其魅力所在。

从应用来看，区块链技术的核心优势是建立交易过程的信任机制[3]，这种信任机制并不以中心化信用保证为基础（如以国家信用为基础发行的货币），而是通过公开透明的智能化合约实现链条和节点信息的无损传递[4-5]，让双方均能完全掌握与该笔交易相关的所有信息，从而做出最优决策，降低交易过程中的摩擦成本，提高交易效率。简而言之，区块链技术可以高效地解决交易过程中信息不对称问题。

对于能源互联网目前存在的诸多问题来说，购建和管理储能设备所需规模庞大的投资性现金流，与能源互联网降低成本、提高效率的内生要求的相矛盾。如何有效地解决这个问题，成为突破能源互联网发展瓶颈的关键。目前电能产品的定价机制基本采用监管机构总体掌控下的成本加成定价方式，对于能源互联网中的生产者、消费者来说，并不存在灵活多变的定价决策系统和对应的交易机制，特别是对于分布式新能源网络、微电网等创新的电能产品生态系统，定价交易机制的发展更是严重滞后，这也成为制约能源互联网发展的瓶颈之一。对于能源互联网的重头戏——新能源发电端来说，目前实行的是国家补贴政策，但随着新能源发电规模的扩大，补贴费用易让财政难以承压，如何有效化解能源互联网发展对资金的需求难题，也成为能源互联发展的重要问题之一。

基于以上问题，本文根据能源互联网的现实状况和未来的发展需要，提出将区块链技术应用于能源互联网定价交易模型中，实现能源电力由产品向资产的转换，通过建立基于区块链技术的智能合约机制，赋予电能产品以金融属性，并提出相应的定价和交易模型，以期为能源互联网的发展提供有益参考。

2　区块链技术适用于能源互联网电能产品定价交易的哲学基础

（1）区块链技术解决能源互联网定价交易的认识论基础

区块链是分布式数据存储、点对点传输、共识机制、加密算法等计算机技术的新型应用模式[6]。其中，“分布式数据储存”“点对点传输”“加密算法”给出了区块链的定义隐含的信息客观、信息安全的假设规

基金项目：国网电子商务有限公司科技项目“国网电商基于人工智能的光伏金融底层支撑技术及应用研究”（No.9900/2018-72005B）

人民邮电出版社出版

定，这对于交易支付机制来说，是极为重要的，符合人们对于一般交易支付具有的普遍观点和定义（需要注意的是，并不是符合某一种事实，而是符合由多种事实上升而形成的主观意念体系，从这种意义来说，具有融贯论的某些特色，但并不同于融贯论的新概念提出，所有其还是符合论的属性），所以其定义是由符合论给出；其定义中“共识机制”，隐含的假设是“涉及该区块链的契约关系是由参与交易的各方共同认可并维护的”，这涉及参与各方对于整个区块链架构的接纳程度，明确指出是参与者的“共识”，说明区块链技术整体架构给出的辩护机制是融贯的，即区块链技术描绘的交易支付机制是建立在参与者已有知识体系的基础或者纳入的新概念上，与已有的知识体系是完全兼容的，这给出了区块链技术能够实现的融贯论基础[7]。

至此，以区块链技术解决能源互联网中电能产品的交易支付机制问题，既给出了能够被接受的概念，也给出了能够自我证明的机制，即符合论给出定义、融贯论给出标准。

（2）区块链技术有可能揭示能源互联网电能产品交易中的因果机制

在能源互联网电能产品交易过程中，售电方需要对价格变动做出解释，而购电方对这种解释的正确作判断并做出行为决策。双方都需要解释价格波动的因果机制，区块链技术可能成为一种较好的方案。

根据休谟对因果机制的定义是“原因和结果事件在时间上的毗连、时间顺序、必然联系”[8]。在能源互联网电能产品交易结构中，定价、价格浮动、竞价等环节均面临“为什么是这个价格”“我为什么要接受这个价格”的问题，虽然区块链技术并不直接给出原因，但由于其解决信息不对称的内在本质及共识机制，从侧面提供了因果机制解释的可能途径。在区块链技术的共识机制中，价格的给出和接受均属于因果事件中的结果部分，而通过共识机制建立的定价体系（后文将给出具体模型）成为解释这种因果机制的关键。

同时，区块链技术能够基于密尔逻辑给出定价和价格变动的因果归纳方法论。在现实市场交易中，价格波动往往给市场带来不确定的影响，有时这种影响产生的后果甚至是长期的和难以预料的。但基于区块链技术构建定价交易机制，通过共识机制给定了价格行为的前提条件，使得能源互联网中电能产品的价格是基于密尔的“求异法”得出，A 价格和 B 价格的定价因素得到了“控制”，通过将“其他条件不变”作为前提，使得不同价格之间具有明显的“可比性”。特别是当价格波动来临时，交易参与者均能从价格变动的原因、价格变动的行为、价格变动后的竞争决策等环节获取充分信息，有效地理解价格变动的实质并进行理性决策。

（3）区块链技术能够改变参与能源互联的集体行动临界值

集体行动临界值指的是已参与群体行动的个体数目。正如格兰诺维特说的“没有客人的餐馆不是好餐馆”，这其中的因果机制由赫兹多姆、斯韦勃格解释为在信息和制度不确定的情形下，其他个体的行为将决定个人的判断和行为[8]。

对于能源互联网，特别是基于绿色电能产品的分布式新能源网或微电网等，通过构建基于区块链技术的定价与交易支付机制，能够解决现有机制中定价因素不透明、价格变动因素不清晰、未来价格走势难以预料的问题，使得电能产品价格通过能源互联网的模式真正走向市场定价，而不是仍然处于政府管制的价格体系，这会吸引越来越多的用户加入能源互联网，并随着用户数量的增加对未加入个体产生更大的吸引力，从而为提高整个能源互联网的竞争优势和运行效率产生巨大的推动作用。

3 基于区块链的能源互联网电能产品定价框架

电能产品的概念有广义和狭义之分，本文仅讨论狭义的电能产品，以现有计价单位“度”或者“千伏安”等作为衡量的能量提供方式。

（1）传统市场下的电能产品市场结构分析

对于传统的电力行业来说，要想投资电能产品的发电、输配电、售电等各个环节，需要规模巨大投资性现金流，构建固定资产并形成有效产能的周期较长。但由于电能产品重要的社会属性特征，使得电能产品价格受到监管机构的强力约束，即使是在欧美等发达国家，也并不存在完全市场化的电能产品定价交易机制，因此导致电力企业投资回报周期较长，对筹资性现金流依赖过重，这从中国发电企业高达 75%的资产负债率可得到印证。高门槛、高最小效率规模、市场内较少的企业主体等成为传统电力行业的显著特征，形成了坚固的行业壁垒，对应的市场结构如图 1 所示，其中，P 表示电能产品价格，Q 代表产量，D 表示需

求曲线，q 代表厂商最小效率规模处的产量，巨大的最小效率规模导致整个传统电能产品行业可容纳的厂家数量有限，图 1 显示了垄断的极端情况。

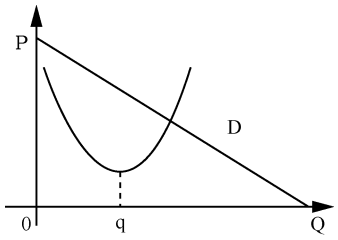


图 1　垄断厂商的市场结构

（2）能源互联网中电能产品的市场结构分析

能源互联网以“市场化、去中心化、智能化、互联化”为特色，具有“自组织、自学习、自进化”的生态系统特征，这与以往的能源网络具有的特点完全不同，因此决定了其电能产品的属性产生了质的不同，主要具有以下优势。

在能源互联网中，分布式电能产品的提供者（如分布式光伏电站、分布式风能电站等）在购建长期资产时，并不需要大规模的投资性现金流。特别是随着技术进步和电站设备大规模生产的实现，使得分布式电站的投资规模反而趋于降低[9-11]，进入能源互联网并成为电能产品提供者并不再困难。在能源互联网的输配电过程中，现有电力输配网络为能源互联提供了最为重要的设施基础，不需要投建新的能源互联网专用输配网络。在能源互联网中，电能产品的交易双方通过基于区块链技术的智能化合约进行信息传递，不再需要类似现有售电终端事业部之类的推广机构和团队，大大降低了售电成本。利用区块链技术搭建的交易支付体系充分利用现有互联网完成相应功能，不需要投建新的能源互联网交易支付网络，在提高现有互联网利用效率的同时，实现了电能产品交易支付新机制。能源互联网所具有的以上优势，对应的市场结构如图 2 所示。

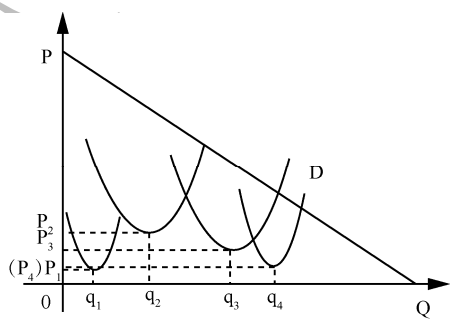


图 2　能源互联网中的电能产品市场结构

由图 2 可知，在能源互联网中，由于最小效率规模降低使得现有需求下市场可以容纳更多的小厂商（为了简化，以 4 个厂商代替），他们提供不同的产品数量 q_1、q_2、q_3、q_4，并获得不同的市场价格如 p_1、p_2、p_3、p_4 等。由此可得市场结构对应的定价和交易机制，市场化的因素要较传统电能产品市场结构条件下灵活得多。

4　基于区块链技术的价格形成机制

（1）以寡头垄断为主的定价机制

在能源互联网中，区块链技术提供了针对信息不对称问题的优良方案，通过智能合约和时间戳等方式，让交易双方完全能够了解所需信息。虽然能源互联网鼓励众多小规模电能产品提供者存在于市场中，但由于已有规模庞大的传统电能产品具有电力质量好、产量稳定、市场占有率高等优势，在能源互联网和传统电能网两种市场结构共同发挥作用的初期，能源互联网中那些规模较小的电能产品提供者，特别是分布式电站，并不能够拥有完全自主的定价权。可以确定的是，价格机制的唯一选择仍然是在现有监管框架下，以供需关系变动为主导的成本加成定价方式，在此意义上，可将传统电力市场部分视为垄断寡头，其相关的定价机制和监管框架在此不赘述。

（2）电能产品剩余市场及影响分析

电能产品剩余市场（简称为“剩余市场”）指的是在能源互联网发展初期，以寡头垄断定价为主的市场结构和价格机制情况下，能够服务众多小规模电能产品提供者的电能产品市场。作为能源互联网的有益补充，剩余市场除能率容纳众多电能产品厂商之外，还对能源互联网中发、输、配、售等环节创新有着重要的意义，不仅对各环节运作的方式和内容、甚至可能对占有绝对体量的传统电力市场通过价格竞争等手段形成倒逼机制，如电力生产者的去中心化（小规模的新能源生产模式代替大规模的火电或水电系统）、新的储能设备市场的发育（针对新能源电能产品周期性设计）、庞大的电能产品地推系统的萎缩（电能产品营销事业部的职能转换）等[12-13]。在这之中，基于区块链技术的电能产品定价和交易机制起到了关键作用，使得剩余市场中电能产品的提供者能够与消费者实现有效对接，而且不依赖于传统的营销环节。

对于监管机构来说，剩余市场并不是现有电能产品的重点监管对象，反而本着环境因素和技术进步等原因，对于剩余市场的发展出台了种种鼓励政策。但

必须看到这种鼓励是以剩余市场占比极小且未能充分发育为前提的，这种鼓励政策的持续时间，由剩余市场的扩大情况和相应技术进步所决定。特别应注意的是，在传统电能产品市场结构下，电能产品生的产和传递等各个环节，因最小效率规模较大而导致垄断现象严重，监管机构并不能有效地确定垄断厂商的真实成本。即使采取政府管制的价格模式，但由于垄断厂商是在价格大于边际成本的点经营，所以政府管制也不能避免由此导致的垄断低效率[14-15]。但在能源互联网中这种情况将有所改变，特别是对于剩余市场来说，更为可能的结构是众多小厂商的竞争模式，众多小厂商只能选择在价格等于边际成本之处经营。

（3）剩余电力产品电能产品市场中多厂商的古诺均衡模型

对于剩余市场中的电能产品提供者，受制于能源互联网中储能技术的滞后问题，目前的监管机构采取“满发满上”的鼓励政策，因此，当这些提供者选择了合适的发电设备后，能够提供的产品数量其实已经确定。在能源互联网中设计定价和交易机制时，应该选择的电能交易模型是价格决策而不是产量决策（虽然目前采取的是政府指导定价的监管框架）。随着能源互联网的发展，这些电能产品提供者是否可以采取价格决策的伯特兰竞争模型，或者两种模型共同发挥作用，将在其他研究中予以探讨。

在电能产品剩余市场中，存在 n 家分布式小规模电能产品厂商，剩余市场的行业总产量为 Q。假设剩余市场的需求函数为：

$$P = a - bQ \tag{1}$$

对于 n 家厂商中的第 i 家厂商来说，其生产条件是边际收益 MR 与边际成本 MC 一致，表达为式（2）。

$$p + \frac{\Delta P}{\Delta Q} Q_i = \mathrm{MC}_i \tag{2}$$

其中，p 为电力剩余市场均衡价格，等于价格对产量的敏感系数 b，为 i 厂商的电能产品产量规模，将式（2）作变形处理，得式（3）。

$$P\left(1 + \frac{\Delta P / P}{\Delta Q / Q} \times \frac{Q_i}{Q}\right) = \mathrm{MC}_i \tag{3}$$

令 $s_i = Q_i/Q$，作为厂商 i 的市场占有率（即市场份额），则式（3）可简化为式（4）。

$$P\left(1 - \frac{1}{|\varepsilon(Q)|s_i)}\right) = \mathrm{MC}_i \tag{4}$$

其中，$\varepsilon(Q)$为剩余市场的总需求弹性，$|\varepsilon(Q)|(s_i)$为厂商 i 所面临的需求弹性，容易得到的结果是，厂商所占份额越小，面临的需求弹性将越大。这和微观经济学中多家厂商古诺均衡模型完全一致。

对于能源互联网中的剩余市场来说，在目前的监管框架下，其规模和数量均不占当地电力市场的主要部分。那些新能源发电占比较大的地区，由于输配电环节存在的约束较强，也未能实现满发满上[12, 16-19]，而对于分布式光伏电站等电力提供者，服务于微电网的可能性更大，这就导致了剩余市场总量在一定时期内不能对整个电力市场产生影响，这不利于改变剩余市场中多个小厂商竞争的结构，因此，多厂商的古诺均衡将在一段时间内持续，现有定价机制并不容易发生根本性变化。

5 基于区块链技术的电能产品剩余市场定价模型

在剩余电能产品市场中，所有小规模电能产品消费者采取的是产量决策而不是价格决策。但从目前国内能源互联网发展的现状来看，剩余电能产品市场往往不能形成有效的统一市场，而存在的是（或者未来一段时间内都是），以区块分割为主要特征的区域性能源互联网或者微电网等。在这样的市场中，对厂商的竞争模型进行修正，并将消费者因素纳入框架以考察价格机制运行模式。

式（1）将以剩余市场需求弹性作为外生变量的市场结构模型作为能源互联网的重要内容，构建分布式新能源微电网或者区域性电网成为重要途径。通过国内分布式新能源政策走向来看——以“金太阳”工程为例，通过政府补贴等方式促进微电网和分布式能源站的建立，取得了一定成果。但由于补贴政策和价款不能完全到位，分布式新能源政策的推广程度不尽人意。本文认为政策导向应该是在一定区域或存在构建微电网可能性的居民聚集区采用浮动法确定电能产品剩余市场的发电量，促进分布式能源站的建立，为能源互联网的发展提供空间。在这样的政策框架下，剩余市场的规模可以作为外生变量，即给定 D 值（暂不考虑浮动程度及水平），在此条件下，将图 2 所示的模型作调整后如图 3 所示。

图 3 中所示的模型，存在的两个约束条件，分别为式（5）和式（6）。

$$\sum_{1}^{n} q_i \leqslant (q - q_0) \tag{5}$$

$$P_i < P \tag{6}$$

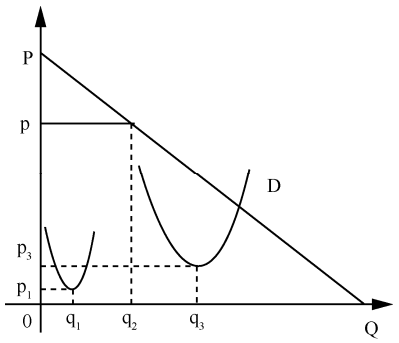


图 3　给定需求的微网市场结构模型

式（4）作变形为式（7），其更为清晰的表达了在微电网电能产品市场中，产品价格完全由厂商所能提供的电能产品数量而确定。

$$P\left(1-\frac{1}{|\varepsilon(Q)|s_i)}\right)=\mathrm{MC}_i \qquad (7)$$

（1）由古诺均衡模型到伯特兰竞争模型

在区域性能源互联网，特别是微电网中，电能产品提供者可以选择其提供的产品数量，这与目前满发满上的鼓励性政策不同。但为了更符合未来的市场化趋势，应将生产能力作为内生变量纳入框架，采用先选择生产能力再进行价格竞争的两阶段竞争模型更为合适。克瑞普斯和沙因克曼（1983）证明，在这样的两阶段模型中，唯一的子博弈精炼纳什均衡（subgame-perfect equillbraim，SPE）是古诺解（即在古诺模型中利用反需求函数求解价格），这正如式（7）证明的那样，微电网中的生产者总是选择了电站的输出规模，根据反需求函数得到价格。由此，实现了古诺均衡向伯特兰模型的过渡。

在给定厂商的伯特兰竞争模型中，在均衡时厂商面临的需求曲线是一条无限弹性的需求曲线，消费者都会从定价更低的生产者那里购买电能产品，这基于电能产品同质性假设，已经在传统电力市场中得到了论证。但在能源互联网中，那些小规模电能产品提供者只占据为数不多的剩余市场，特别是在当前整个发电行业产能严重过剩，且新增产能仍在增加的情况下，剩余市场的规模只能靠现有监管框架下的政府支持获取[19]。在此情况下，并没有形成真正的微电网系统或者在线竞价和交易的能源互联交易平台，其重要原因之一是电能产品差异化问题仍未得到解决。

（2）区域性电能产品提供者间的产品差异

在传统电能产品市场中，并不存在电能产品的明显差异，购电环节中也没有电能产品的评价和选择行为，用户并不清楚自己所使用的电能是来自火力发电、核能发电、水力发电还是新能源发电。这些不同种类电能产品的差异性在庞大的已有输配电网络系统中被完全去除，除了系统中的电力调度环节，生产者和使用者并不是直接发生联系。随着能源互联网的发展，这种情况有可能产生变化。比如在微电网中，二者交易以 P2P（peer to peer）的形式进行，消费者不仅知道电能产品的生产者来自哪里，而且能对电能产品质量做出评价，如电力供应的稳定性、是否存在扰动效应等方面。这必然对现有的输配电网络提出了要求，且在电力生产环节中可能要求引入储能设备的购建，这增大了系统投资规模和管理成本，容易成为制约能源互联网的发展的瓶颈。

有没有可能利用现有输配电网络进行改造，并略去储能环节呢？区块链技术的发展为此提供了一些有益的可能性解决方案。生产者和消费者通过区块链的智能化合约连接起来[20]，并通过组网方式进入整个能源互联网，他们能够通过互联网获取信息并参与到交易过程中，消费者不仅能够获得电能产品的所有信息，而且能够对电能产品的使用情况进行评价，并成为电能产品生产者今后参与市场竞争的参考信息，这为构建智能化合约和非中心化评价模块奠定了市场基础。对于生产者来说，局限于购建固定资产的规模大小，生产成本对微电网的贡献能力并不相同，那些相邻的微电网用户，可能选择价格较低、供电稳定、电源质量好的电力来源，但这样的跨区选择并不能无限发生，由跨区微电网输配电网络成本所决定，例如，北京的微电网用户不可能使用上海的分布式光伏电站提供的产品。由此导致的电能产品在种类和成本方面产生了差异。还可能存在的情况是，基于能源互联网能够给用户提供在价格或政策方面具有优惠的电能产品（比如新能源更为低廉的售价或者更为完善的服务，或者更为灵活的供电方式），使用者会在所处节点位置的微电网处优先选择能源互联网产品。

6　基于区块链技术的能源互联网交易机制

能源互联网作为电能产品发展的重要方向，关键要解决降低成本和提高利用效率的问题[21]。如果在电能产品产生后不能马上进入交易环节并消费，必然要求在发输配环节增设储能设备，这增加了投资性现金流和管理成本，甚至可能成为区域性电网或者微电网发展的重要瓶颈。区块链技术的发展，为解决这个问

题提供了有效的参考途径，这其中，对于能源互联网电能产品的合约化管理成为关键。

（1）交易框架设计

本文提出一种现有新能源、区域性电网、微电网发展的解决方案，其中，区块链技术作为底层支撑，可为去中心化的定价和交易提供机制，但并不能脱离现有电力调配系统的总体控制而存在，未来一段时间内，这种格局仍然会维持。因此，在交易机制中，传统电力市场调配机制仍然发挥重要的作用。基于区块链技术的能源互联网交易机制框架如图 4 所示。

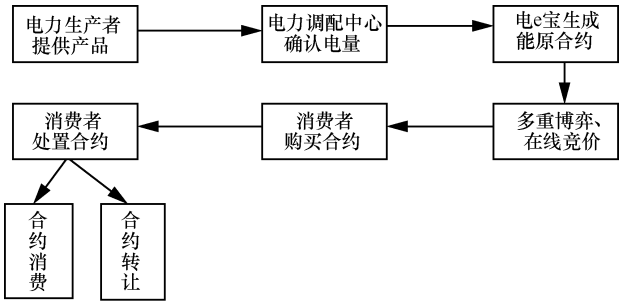


图 4　交易机制框架

在交易机制框架中，第一个环节是由生产者提供电能产品，由于区域性电网或者微电网中的电能产品生产周期性特征明显，如分布式光伏电站，其与太阳能获取周期及用电周期强相关，因此分布式的电能产品具有明显的时间印记，这个时间印记构成区块链合约的第一个特征，与此同时产生的电能产品特征是电力的多少，可以用度数来表示。

第二个环节中，无论根据剩余市场电力规模的调整还是现有的“满发满上”的监管框架，只要能上传到输配电网络的就可以由传统电网的输配电中心给予确认，这是能源互联网中最重要的环节。电力调配中心根据电能产品来源确定生产者、生产时间、产品数量，并向能源互联网管理中心（如目前已在的国网电商平台上线的电 e 宝或者电 e 家）传送相关数据。电能产品随之进入电网输配过程，但并不同于有些方案中提到的那样，要等购买者确认消费，而采取电力打包输配，与传统电力市场产品混合出售，不予以区别对待。本文提出的框架中，调配系统只起到确认电能产品数据属性的功能。

第三个环节中，电 e 宝之类的管理平台根据调配中心生产的数据特征，生产一份包含生产者信息、产品信息、相关契约条款的智能化合约，投放于网络交易市场（投放场景可多种多样，在京东、苏宁、微信等平台等以能源币、电力币等多种形式呈现，本文暂定为 energcoin。至此，电能产品只保留其数字属性，但已经完成了由产品到资产的转变[22-23]，在交易市场中的标的是以权益为内容的合约 energcoin，而不是实物产品。

第三、四、五环节很简单，由于 energcoin 具有了权益合约的所有特征，并可以通过区块链技术进行制作、加密、传输、转让，便与其他类似金融产品一样可通过多种方式和平台进行交易[24-27]。

（2）区块链技术在该交易中发挥的核心作用

在图 4 所示的交易框架中，区块链技术的作用主要体现在合格生产者的认证、电能产品的资产化、交易竞价、消费者处置等过程。

对于要进入能源互联网的生产者来说，如何确定该生产者是否合格，目前并没有相关的认可机制，只是根据生产者购建的电站规模和设备情况做出了一些规定。但如果该生产者进入电力金融交易，其合约持续能力成为关键，特别是在电力资产证券化过程中，出让的可能是未来电费的收益权，在托管条件下其对电站的管理能力成为关键。因此，合格生产者认证成为能源互联网中区块链应用的第一个场景，与之对应的合约必须包含生产者认证信息，并加盖时间戳，使之不可更改。

国家电网并不会为生产者提供直接的资金补贴，只需要确认其数字属性，然后将电力进行售卖即可。在此意义上，国家电网只负责确认能源互联网厂商的“电力权益”即可。对于电 e 宝之类的管理平台来说，以交易所的模式运行，对包含生产者信息和电能产品数字属性的权益进行封装即可，不参与竞价和交易过程，只负责管理电子权证及相关的信息安全，并收取管理费用。在管理平台售卖的 energcoin，可以分为“实币”和“虚币”两种形式，暂可分别称为“hard coin（实币）”和“soft coin（虚币）”，前者针对已经产生的电力合约（包含电站认证和电能产品认证），后者针对未来产生的电力合约（只包括电站认证，通过在电 e 宝平台提交注册信息生产智能合约的底层数据），甚至对于传统电力市场，区块链技术仍然有效。传统电力生产厂商可直接在电 e 宝等管理平台投放若干大小不等的“hard coin”和“soft coin”，与区域性电网或微电网的生产者一起参与到交易框架中，特别是为了规避周期性生产波动，可售卖一定量的“未来合约”，其中包含大量的“soft coin”，高峰时抛售，

低谷时回购，并以此制定智能化的生产计划以提高设备使用效率，降低生产成本。

（3）以合约规模为基础的竞价模型

构建在区块链技术基础上的 energcoin 与比特币具有完全相同的金融特征[28]，其作为金融资产特有的流动性本质，这种基于电能产品的 energcoin，对于持有者来说（并不区别生产者或者消费者），在持有到期或未到期时刻，是获得风险升水还是风险贴水，与该笔合约的流动性有直接的关系，那些流动性好的资产获得风险贴水的可能性和幅度较大的假设，能够与市场规律保持一致[29]。既然在能源互联网中电能产品转换为电力资产，具有了交易支付的功能，那么，对于合约持有者来说，其定价机制与式（7）稍有不同。

在式（7）中， 代表了厂商 i 所占有的市场份额，并以此为基础在价格机制中获得相应的话语权，其产品能够在价格高于边际成本处销售（即 P>MC，此处不考虑产品差异导致的需求价格弹性 的变化）从而获得超额利润。但这种情况在智能合约交易中会有很大不同，合约持有者不一定是生产者，而很可能只是该笔合约交易历史的其中一个环节。或者生产者自己并不拥有实体电站，只是从事大量合约买卖的中间商，甚至可以是“虚拟电站”运营商，这种情形下， 市场份额指的是该合约持有人合约数量占整个合约市场的份额而不是电能产品的真正市场份额，二者的区别是合约存在现时还为生产的电能产品，而式（7）并不包含这个部分，所以可将其变形为：

$$P\left(1-\frac{1}{|\varepsilon(Q)|/(S_1+S_2)}\right)=\mathrm{MC}_i \tag{8}$$

其中，S_1 表示合约持有者中现时合约（基于已完成生产的电能产品）的占比， S_2 表示合约持有者中未来合约（基于将来可能生产的电能产品）的占比，将 S_i 区分为不同的部分，在于 S_2 代表的份额经过贴现后，风险溢价获得升水的可能性比较大，毕竟未来合约不确定性更大些，这符合基本逻辑。

S_1 和 S_2 的出现除了以上考虑贴现的因素外，还有着重要的意义。对于基于区块链的职能合约来说，即期价格包含了交易参与各方对市场的预期，如果将通过膨胀率考虑在内，从金融属性来看，S_1 属于即期合约而 S_2 则属于远期合约，但实际情况极其复杂，也可能出现导致现象，然而这并不影响式（8）表达的意义。

（4）基于波动率的风险溢价模型

作为投资方来说，如何看待智能合约的价值呢？相对于传统资本市场来说，电能产品的 energcoin 属于区块链化的可交易物，其真实价值的判定虽基于所代表的电量水平，但在交易过程中，由于合约持有人因素、市场因素等会存在一定差异而产生价格波动情况，投资者必须对这种价格风险有所认识和把握。如何有效考察合约价值并判断其波动情况，目前未见文献报道，本文构建波动率模型，并对所参考著名的 KMV 模型中描述资产价格及其波动的思路简单加以描述。

假设某个包含 energcoin 的合约包中，有 X_s 个现货合约，X_f 个远期合约，其价值用 V 表示，可用式（9）表示。

$$V=X_s+\beta X_f+\varepsilon \tag{9}$$

由于 energcoin 具有权益类与期货类金融产品属性。之前学者对中国股票市场收益率的研究表明，国内市场权益类与期货类等金融产品的收益波动率符合 Garch(1,1)模型，故此，本文在参考 Garch（1,1）的基础上调整该模型用于 energcoin 的波动率的参数估计。即：

$$\sigma_f=c+\phi\sigma_s+\varphi\hat{\varepsilon}_s \tag{10}$$

$$\hat{\varepsilon}=\sigma_s-\sigma_{f,t-1} \tag{11}$$

$$\sigma_v^2=\sigma_s^2+\sigma_f^2+\beta^2*\mathrm{cov}(X_s,X_f) \tag{12}$$

其中，为在 t 期所预测的（t+1）期的 energcoin 合约的波动率。进一步，可继续根据 KMV 的相关思路计算该笔合约对应资产的违约距离。对其违约可能性做出判断，本文不做深入讨论，相关内容将在后续文章进行探讨。

7 结束语

可以看到，构建起基于区块链的能源互联网定价与交易模型后，能够为建立相关的体系和机制提供解决方案，参与交易的各方，包括生产者、消费者、管理者共同构成能源互联网主体，由管理层提供交易场所，即类似于电 e 宝平台，生产者和消费者自由交易，产品价格随行就市，充分体现了互联网与能源产业的深度融合，并实现了电能产品向普惠金融产品的实质性转变。对于生产者来说，通过远期合约的价格发现功能，能根据未来产品的交易价格更好的安排生产计划，并通过售卖合约对市场需求波动风险进行对冲管理，对消费者来说，能通过合约获得和转让实现资产流通，对管理者来说，维护成本极低而且获利丰厚，对政府部门来说，避免了传统电力市场进一步形成过剩产能、抑制清洁能源发展的问题，而且不需要再对

水电部电力出版社

新能源电能产品提供大规模补贴，可以说，将区块链技术应用于能源互联网产品的定价和交易，能够实现多方共赢、稳步促进能源互联网发展的目标。

参考文献：

[1] SWAN M. Blockchain :blueprint for a new economy[M]. California:O'Reilly Media,2015.

[2] TAPSCOTT A, TAPSCOTT D. Blockchain revolution :how the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world[M]. Grand Haven:Brilliance Audio,2016.

[3] ANTONOPOULUS A M. Mastering bitcoin[M]. California:O'Reilly Media, 2015.

[4] RIFKIN J. The third industrial revolution :how lateral power is transforming energy, the economy, and the world[M]. New York: Palgrave Macmillan, 2011.

[5] SWAN M. Blockchain :blueprint for a new economy[M]. California:O'Reilly Media, 2015.

[6] BURGWINKEL D. Blockchain technology: einf hrung frbusiness-und it manager[M]. Berlin:Walter de Gruyter,2016.

[7] OLLEROS F X, ZHEGU M. Research handbook on digital transformations[M].Cheltemham :Edward Elgar Publishing Ltd.,2016.

[8] 宋华. 基于产业生态的供应链金融的创新趋势[J]. 中国流通经济, 2016(12):85-91.

[9] 梅海涛, 刘洁. 区块链的产业现状、存在问题和政策建议[J]. 电信科学, 2016(11):134-138.

[10] 卿苏德,姜莹,王秋野.区块链的技术原理和意义[J]. 电信网技术, 2016(12):14-20.

[11] 李主斌. 符合论 VS 融贯论 [J]. 自然辩证法研究, 2011(09):15-20.

[12] 彭玉生. 社会科学中的因果分析[J]. 社会学研究, 2011(03):1-32.

[13] 包婧文. 分布式电站是未来发展趋势[J]. 太阳能, 2013(10):13-15.

[14] 刘振华. 光伏家庭分布式电站的现状及发展趋势: 以创新驱动为引领，加快“中国制造 2025”战略实施研讨会暨 2016 年第六届全国地方机械工程学会学术年会, 中国新疆维吾尔自治区, 2016[C].

[15] 孙海燕. 某混凝土屋面分布式光伏电站基础方案分析与计算[J]. 中国新技术新产品, 2015(07):158-159.

[16] 朱成章. 电价:电力改革的难点所在[J]. 大众用电, 2009(06):3-4.

[17] 胡济洲, 奚江惠, 侯远潮, 等. 英、美新一轮电力改革制度及借鉴[J]. 经济纵横, 2005(10):53-56.

[18] 段丁强，赵擎. 谈电力垄断行业的改革[J]. 价值工程, 2014(05):181-182.

[19] 谢惠玲. 谈电力垄断行业的改革[J]. 黑龙江科技信息, 2010(34):78.

[20] 何勇健. 打破电力体制改革僵局的几点思考——兼论消除电网垄断权力的路径选择[J]. 价格理论与实践, 2012(05):12-14.

[21] 欧阳春香. 电改着力破除电网垄断[N]. 中国证券报,2014-12-05.

[22] 何勇健. 如何打破电力体制改革僵局[N]. 中国能源报, 2012-05-21(1).

[23] 潘炎松. 从电力价格的制定看电力垄断问题[J]. 武汉交通职业学院学报, 2009(1):78-80.

[24] 李为线. “数字货币”分布式总账共识系统设计与实现[D]. 呼和浩特:内蒙古大学, 2016.

[25] 何东，卡尔•哈伯梅尔, 罗斯•莱科, 等. 虚拟货币及其扩展:初步思考[J]. 金融监管研究, 2016(4): 46-71.

[26] 王春峰, 孙会国, 房振明. 资本成本与资产流动性关系的经验验证[J]. 现代财经(天津财经大学学报), 2012(9):74-83.

人民邮电出版社出版

基于机器学习及大数据的负荷预测研究与应用

郑贵德
（中国电机工程学会电力信息化专委会，北京 100761）

摘　要：电力负荷预测无疑对电力调度及发电计划都具有重要意义，准确稳定的预测显然能够带来实实在在的经济效益，所以，不断提升改进用电负荷预测能力是电力部门的一项长期艰巨的工作。本研究面向的是用电负荷大数据，是从大规模配变采集的每日 96 点的多年数据，研究的方法是用机器学习方法对大数据进行分析预测，本研究的重点是挖掘数据内在规律，为了使数据规律性更加可循，在作负荷预测前，先根据用电行为对用电负荷数据分层聚类，使得用电负荷曲线尽可能在类内相似、类间区别明显，基于用电行为的分层聚类可动态反映用电行为变动，效率高，可避免人工分类失误。分层聚类完成后，再对各分类分别作预测分析，分类预测模型算法是在用于时间序列算法的基础上通过神经网络算法对不规则波动作调整。不规则波动是由用电环境，如天气、节假日等的变化等带来的。神经网络算法可以根据历史数据的学习较好调整环境影响因素对负荷的波动。本研究已经在实践中得到应用，其预测准确度及稳定度都有新的突破，该负荷预测方法可以应用在电力调度部门的日内 96 点负荷预测，也可以用在计划部门的中长期负荷预测。

关键词：大数据负荷预测；机器学习；用电行为聚类

1　引言

随着智能电网的发展，用电数据在采集的粒度、频度及质量上都有明显改进[1]。以前研究的用电负荷预测方法[2]，由于条件局限，往往是一种倾向于按地区进行统计的方法，人工经验介入比较多，预测的准确度、稳定度难以保证。简单估算，省一级的配变设备规模一般达到几十万台级别，按 15 分钟的数据采频率，3~5 年下来可以采集到的数据量十分可观，这就为大规模数据挖掘、提高负荷预测能力创造了良好条件。

大数据、机器学习在最近几年已经得到大力应用与发展，而用电负荷的数据量已经积累到足够用于挖掘数据规律，虽然负荷预测研究[3]很多年来一直在进行，但本研究与传统方法有明显不同，采用了新的视角和创新的方法，应用 IT 成熟先进的技术，结合行业业务特点，创新应用大数据，辅助智慧调度与计划。

本研究的数据来源是以电力营销部门采集到的配变 96 点数据为主，以调度部门馈线采集的数据为辅。由于本研究方法已经在省级电力单位经过实际应用，所以需要的数据源获取是可行的。另外，由于用电负荷是基于配变设备，其分析对象的粒度相对传统方法较小，可以通过配变负荷预测组合形成行业、区域、特定群体的负荷预测，从而更好地为电力市场提供服务与决策。

2　负荷预测研究路线

本研究从提升数据质量的数据洗清开始，到根据用电行为的分层聚类，再综合机器学习算法进行分类预测分析，其技术路线如下。

（1）数据清洗

数据清洗主要包括异常数据修复及缺失数据填补，首先对异常数据进行处理，找出异常数据并置为空值，接着对后面的空值进行统一插补。对于负荷预测，由于时间越近的数据其重要性越高，所以无论是异常数据还是缺失数据，都应该按顺序从最近数据开始处理。

处理用电负荷异常数据业界已经有研究方法[4-5]，但本研究是通过历史数据的规律比对来发现异常问题，初步发现数据异常后，可再进一步通过历史同期数据进行趋势规律比较，如果发现与历史同期数据波动规律明显不一致，就可作为异常数据处理。

把异常数据作为空缺数据后，接下去做的是空缺数据的统一处理，针对用电负荷缺失数据，本研究方法也与已研究的缺失数据插补研究方法[6]不同，采用了用历史数据中特征最接近的日负荷数据来替换，由于数据插补是按配变为单位逐台进行处理的，所以，

人民邮电出版社出版

这种替换规则是合理的。但对于日负荷缺失数据较多的个例，可以使用本研究方法作为预测数据处理。

数据选取与清洗流程如图 1 所示。

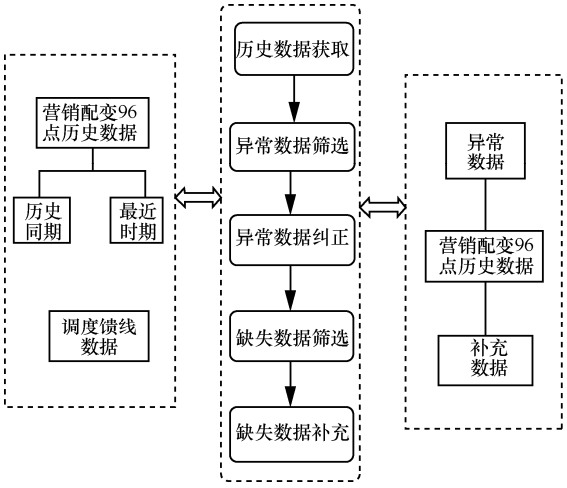


图 1　数据清洗流程

（2）用电行为分类

众所周知，规律性越强的曲线，使用算法拟合及预测的精度就越高，如果曲线规律符合某个具体函数，比如正弦函数、二次函数、指数函数等，那么使用预测算法很容易达到高度拟合并实现准确预测。但是几条曲线叠加后的曲线，即使每条曲线都是某个固定函数，要对叠加后的曲线拟合预测，其准确度会打折扣。同样道理，地区综合的用电负荷曲线也可以看作由多类各自符合一定规律的负荷曲线叠加在一起的结果。显然，分别对叠加前有规律的用电负荷进行预测也会比叠加后的负荷预测更准确。根据这个道理，采用了用电行为聚类的方法把用电行为相似的用户聚为同一个类，然后依次对不同类（比如，工厂、学校、餐饮、娱乐）的用电进行预测，最后把各类的用电负荷预测汇聚形成多层级类别的用电负荷预测。行为聚类的思想比较成熟，可参考的聚类方法[7-8]也不少，通过行为聚类方法分类后其负荷预测准确度、稳定度明显比直接作预测的方法要好。

用电行为的分层聚类示意图如图 2 所示。

（3）分类预测

用电负荷数据经过以上清洗和分类后，类内数据规律比较趋同。比人工分类优越，机器分类可以客观地根据用电行为的量化特征判断，自动化程度高，避免主观性，而且因为配变所接用户对象是动态的，人工分类更新很难。

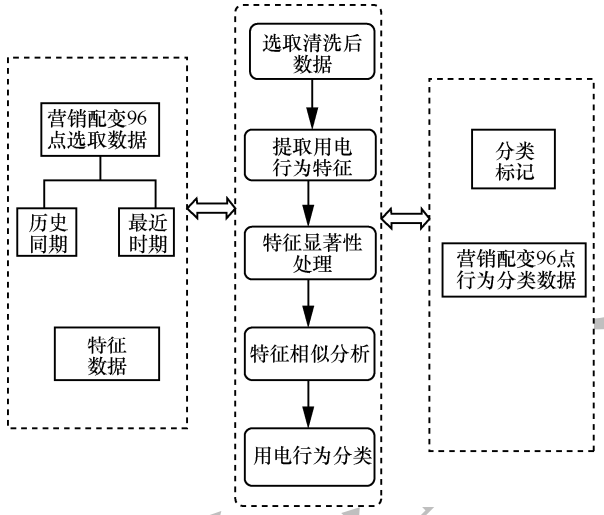


图 2　用电行为分层聚类

时间序列曲线能够综合反映曲线的趋势、季节循环变动。用电负荷曲线也是隐含了用电的趋势、季节循环变动。但用电负荷还有不规则变动，该变动通常受多种环境因素的影响，比如气温、湿度、风力、阴晴雨状态、节假日、事件等，本研究将通过历史数据的学习获得负荷曲线受各环境因素的影响程度。

分类后的负荷预测过程如图 3 所示。

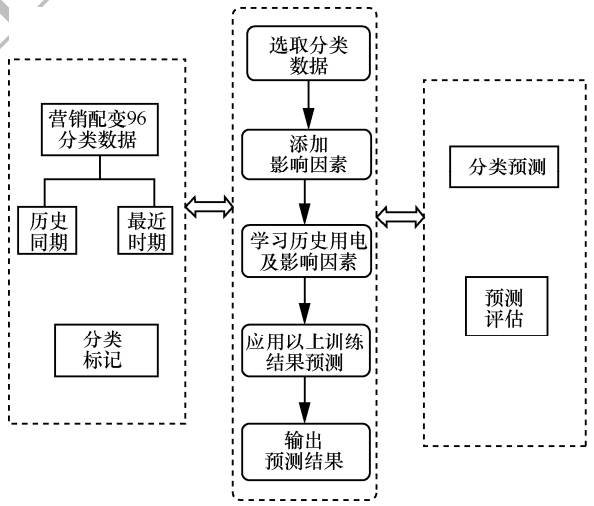


图 3　分类预测过程

3　主要处理方法及算法

（1）数据异常与空置处理

处理数据异常可根据配变历史同期对应点数据的阈值来判断是否异常，超过阈值的数据如果进一步通过馈线数据对比后确认异常，可以把该异常作为空值处理，异常数据处理后，下一步与缺失值处理方法一样。

数据缺失的修复方法有多种，简单的方法有均值、中位数、众数填补等，采用算法插补的方法通常有回归、EM、*K*NN、贝叶斯网络、MCMC 及 SVD 等算法。考虑到每个配变的日 96 点负荷数据有明显日周期规律，本研究方法将通过大数据分析，使用与目标日负荷曲线相似的对应点数据替补目标缺失数据。另外，考虑到越是时间临近的数据越有学习价值，所以，缺失数据的插补首先需要按时间顺序由新到旧进行处理。

缺失数据插补方法如下：

- 从单个配变开始，逐一实现缺失数据插补；
- 对选取的数据按时间从新到旧排序；
- 按日负荷查找缺失数据；
- 从历史数据中获得日负荷相似度最高的曲线；
- 用该曲线的对于点的值替换缺失值。

查找相似度曲线方法如下：设 y_i 是目标预测点的关键特征点值，Y_i 是用于比较的关键特征点值；求 R 平方值：

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i^2}{\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \sum_{i=1}^{n} (y_i - Y_i)^2} \quad (1)$$

其中，n 是目标数据中非缺失值的关键特征点数。选择 R 平方值最小的曲线为其相似度最高曲线。

传统数据插补方法一般都是基于小数据集考虑的算法，插补逻辑性勉强，误差较大，而本应用由于数据充足，在当今计算能力日益提高的背景下，充分发挥了大数据的优势。

（2）基于用电行为的特征分类

用电行为的特征分类可以使用无监督的机器学习算法——聚类[9]来实现，常用聚类算法有多种，包括 *k*-means、层次聚类、DBSCAN 等。

对于 96 点用电负荷，如果直接用所有点进行聚类，那么由于夜间负荷点比例较大，会严重弱化用电负荷的关键特征。因此，使用了分层聚类[10]，从重要特征到次要特征逐步细化分类。

事实上，一天中的几个关键用电特征点就可以区分出用电类型（如工业、餐饮、娱乐场所、机关、居民），相反，如果把夜间的几十个测点都考虑进去倒是难区分。由于同一时间段内，负荷曲线从高到低与低到高往往表现出不同的用电行为，但在聚类过程中，波动幅度的绝对值往往很大程度影响聚类结果。所以，在聚类前还需要对峰谷进行适当处理，比如用指数或对数对幅度进行压缩处理，使得负荷波动趋势能更准确反映曲线所属类型。

考虑到用电负荷的特性，在聚类中，最先可以通过用电负荷的绝对值大小，按权重进行粗分类，因为小负荷的用电如果与类似矿产企业这种负荷很大的用电户混在一起，会造成小负荷用电曲线信息的弱化或丢失。经过权重的确定及峰谷的处理后，就可以使用关键特征对负荷行为进行聚类，接着再用其他特征作下一层聚类。

综上所述，将通过 3 个层次，3 次聚类实现基于用电行为特征的分类，模型算法如下：

- 根据日负荷平均值，通过负荷权重作第一层聚类；
- 选取日负荷数据的关键点作为特征并作标准化处理，应用该特征作第二层的聚类；
- 进一步提取其他用电特征，通过聚类算法完成第三次层的聚类。

聚类的算法如下：

- 从日负荷特征点数据（对象）的集合中选取 K 个样本作为初始簇的中心；
- 将每个对象划分到距离它距离最近的中心点所代表的簇中；
- 用各个簇中的对象的中心点代表簇的中心点；
- 重复除以上初始化以外的步骤，直到中心点不变或到达设定迭代次数；
- 各对象离簇中心距离的计算有多种，这里可用欧几里得的距离平方：

$$d(x,y)^2 = \sum_{i=1}^{n} (x_i - y_i)^2 = \| x - y \|_2^2 \quad (2)$$

其中，x，y 表示不同对象，n 表示特征的数量。

基于欧几里得的距离，聚类算法的优化是使得簇内误差平方和 SSE 最小，即：

$$\mathrm{SSE} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} w^{(i,j)} = \| x^{(i)} - \mu^{(j)} \|_2^2 \text{，} \mu^{(j)} \text{表示} j \text{簇的中心} \quad (3)$$

（3）分类预测

完成分层聚类后，接下来分别对各类用电负荷曲线进行预测。由于类内用电负荷曲线具有相似趋势及季节波动性，表现出的每天的波动规律极其相似，为此可以使用时间序列算法[11-12]来预测趋势和波动。而对于受环境影响的不规则变化，可以通过历史数据学习，掌握特定季节下环境因素对不规则波动的影响，该不规

则波动影响程度可以使用回归或神经网络来计算。

时间序列预测模型算法通常有：移动平均法（MA）、自回归模型（AR）、自回归滑动平均模型（ARMA）、GARCH 模型、指数平滑法。其中指数平滑法特别是三次指数平滑法或 Holt-Winters[13]常常被用在预测分析的应用上。

以下是三次指数平滑计算公式：

$$\begin{cases} S_t^{(1)} = \alpha x_t + (1-\alpha) S_{t-1}^{(1)} \\ S_t^{(2)} = \alpha S_t^{(1)} + (1-\alpha) S_{t-1}^{(2)} \\ S_t^{(3)} = \alpha S_t^{(2)} + (1-\alpha) S_{t-1}^{(3)} \end{cases} \quad (4)$$

其中，α 是平滑系数。

预测未来 T 期的值 X_{t+T} 的计算式为：

$$x_{t+T} = A_T + B_T T + C_T T^2 \quad (5)$$

其中：

$$A_t = 3S_t^{(1)} - 3S_t^{(2)} + S_t^{(3)}$$

$$B_t = \left(\frac{\alpha}{2(1-\alpha)^2}\right)[(6-5\alpha)S_t^{(1)} - 2(5-4\alpha)S_t^{(2)} + (4-3\alpha)S_t^{(3)}]$$

$$C_i = \left(\frac{\alpha^2}{2(1-\alpha)^2}\right)[S_t^{(1)} - 2S_t^{(2)} + S_t^{(3)}]$$

$$x_{t+T} = A_T + B_T T + C_T T^2 \quad (7)$$

由于特定季节的环境因素，如气温、阴雨晴、风力、湿度、节假日及其组合等，对日负荷会造成波动，这些波动程度，可以借助对大量历史数据的训练学习得到，由于环境影响程度通常是非线性的。可用神经网络的反向传播算法计算环境影响因素的影响程度[14]。

基于时间序列的负荷预测公式最后改进为：

$$L_{t+T} = x_{t+T} + a(X)*r \quad (8)$$

其中，后部分的 $a(X)$ 是由影响变量通过神经网络计算的负荷波动值，r 是调整系数。

由于 Holt-Winters 是经典的时间预测模型算法，本文就不再多提。本研究采用了 BP 反向传播神经网络[15]，该算法能通过样本数据的训练，不断修正网络权值和阈值使误差函数沿负梯度方向下降，逼近期望输出。

为了能够捕捉环境因素对负荷波动的影响，需要对数据做些处理，尽可能消除趋势波动及季节波动的干扰，一种比较接近的方法就是先对数据进行标准化，削弱季节影响，再以同期数据为组，把数据按月份分为 12 个组，减弱趋势影响。然后，以月度为单位，以月平均值为基数，把日内值与月平均值的差异作为负荷波动值，把波动值作为目标，影响因素作为变量，这样通过神经网络训练学习就能得出不规则波动预测模型，最后通过预测模型及未来环境因素就可以预测出受环境因素影响的负荷波动。

下面以一个三层 BP 神经网络为例，实现不规则负荷波动预测，当然也可推广到具有任意层数，且每层有任意激励单元的神经网络。BP 神经网络示意图如图 4 所示。

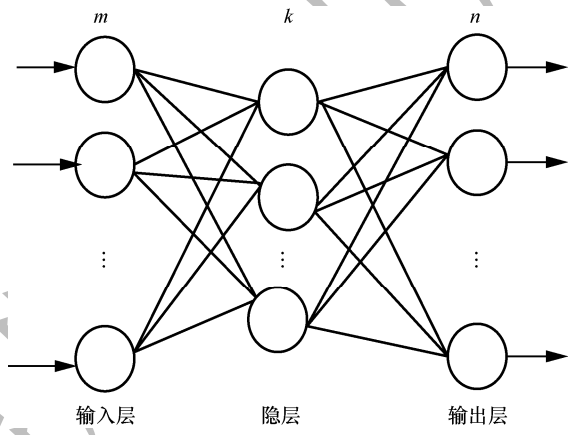


图 4　BP 神经网络示意图

该网络由输入层、隐层和输出层组成，隐层可以有一层或多层，网络选用 S 型传递函数，表示如下：

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (9)$$

反传误差函数表示如下：

$$E = \frac{\sum_i (t_i + Q_i)^2}{2} \quad (10)$$

其中，T_i 为期望输出，O_i 为网络的计算输出。

BP 神经网络是通过不断调节网络权值和阈值使误差函数 E 达到极小。

以下是基于 BP 神经网络实现受环境因素影响的负荷波动预测，具体步骤如下。

（1）输入输出层的设计

该模型由每组数据的各项负荷影响因素指标作为输入，以波动值（与平均值的差）作为输出，这里，影响因素有 5 个，输入层的节点数设为 5，输出层的节点数为 1。

（2）隐层设计

有关研究表明，有一个隐层的神经网络，只要隐节点足够多，就可以以任意精度逼近一个非线性函

数。本文采用一个输入层、一个隐层及单输出层的 BP 网络建立预测模型。在网络设计过程中，隐层神经元数的确定十分重要。隐层神经元个数过多，会加大网络计算量并容易产生过度拟合问题；神经元个数过少，则会影响网络性能，达不到预期效果。网络中隐层神经元的数目与实际问题的复杂程度、输入和输出层的神经元数以及对期望误差的设定有着直接的联系。这里选取隐层神经元个数为 8 个[16]。

（3）激励函数的选取

BP 神经网络通常采用 Sigmoid 可微函数和线性函数作为网络的激励函数。本文选择 Sigmoid 作为隐层神经元的激励函数。Sigmoid 表达如下：

$$f(x)=\frac{1}{1+e^{-x}} \tag{11}$$

（4）模型的实现

将训练样本数据归一化后输入网络，设定激励函数函数，网络训练函数为 Sigmoid，设定网络迭代次数为 5 000 次，使用梯度下降(Gradient descent)法来最优化误差。设定完参数后，开始训练网络，并用训练的模型实现预测。

最后，基于 Holt-Winters 的三次指数回归并通过神经网络调整的模型作为分类负荷预测模型。

4 应用实践

本研究已经在实践中得到应用，主要说明如下。

（1） 数据源

本研究主要是使用营销部门从配变采集的日 96 点负荷数据，为了保证数据质量，必要时候需要用调度部门获取的馈线数据源作比对验证，剔除异常并插补缺失数据。数据来源的场景示意图如图 5 所示。

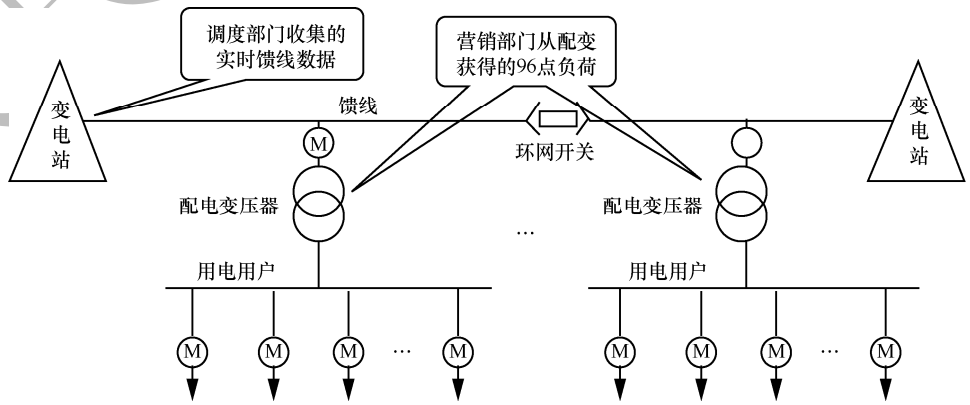


图 5 配变与馈线数据源示意图

（2）分层聚类

用户用电行为是有明显区别的，通过分层聚类，使类内用电规律性更好，更容易预测。由机器通过用电特征自动分析完成的聚类，类内相似度很高，类间差异度较大。

（3）分类预测

为了实现准确且稳定的预测，本预测在对负荷行为相似度分类后，用时间序列对用电负荷的趋势及季节性波动作预测，用神经网络实现对环境因素变化造成的负荷波动调整。

以下是用时间序列经过神经网络模型调整后的负荷曲线的拟合及预测曲线，经过对用电负荷超短期预测实践证明，其预测准确度及稳定度都比传统预测优越。其预测效果如图 6 所示。

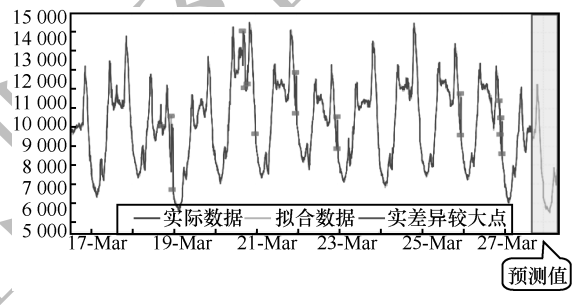


图 6 负荷曲线拟合及预测效果

5 结束语

用电负荷预测水平的提升，可以实实在在带来经济效益，就拿一个月度发电量约 200 亿度，规模一般的省来说，如果负荷预测提高一个百分点，每个月对一个省的发电影响就有 2 亿度，这对于发电调度，特别是自然清洁能源的利用具有极其重要的意义，也就

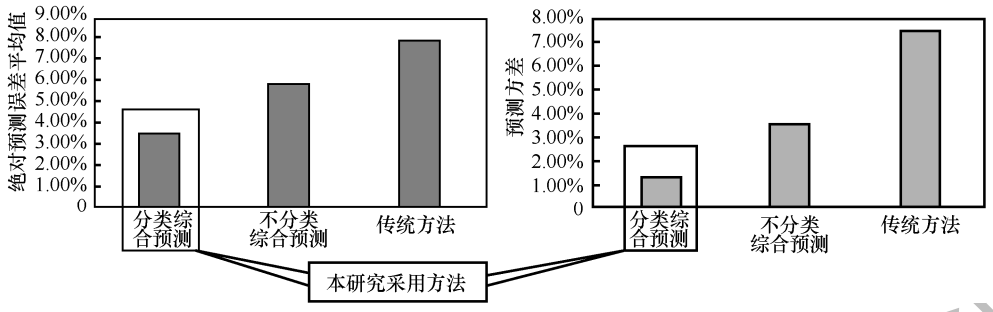


图 7　不同负荷预测方法效果对照

是说，如果预测不准确，对于拥有水电资源丰富的地区，很可能就会造成弃水发电的问题，同时也不利于清洁能源的利用与环境的保护。

传统负荷分析较多利用专家经验并偏向常规统计方法实现，其负荷预测的颗粒度很大，通常以地区为预测单位。而本负荷分析研究充分利用了大数据资源及机器学习方法，其预测的数据来源颗粒度在配变层级，预测的结果可以组合汇总到细分行业、地区或更高层级。本研究的对象是大数据，可以涉及多年几十万台配变的每天每 15 min 的采集数据。由于数据量大，很难用传统统计方法进行处理。另一方面，也正是具备了大数据，才使机器学习的方法模型得到了充分利用，本研究通过多种机器学习算法综合，实现对用电负荷的规律挖掘，在预测的准确度及稳定度都得到明显提升。

以下是在某省级试点城市，用 3 种方法对指定日期数据作负荷预测得出的准确度与稳定度比较结果，如图 7 所示。

从图 7 可以看出，相对来看，分层聚类后再用改进的时间序列分析效果最好，不作分层聚类直接用改进的时间序列预测次之，而用传统方法都达不到用大数据、机器学习方法预测的准确度与稳定度。

总之，本研究提出了用大数据分析挖掘用电负荷规律，在模型算法上提出了基于用电行为的用电负荷分层聚类以及基于神经网络的时间序列改进算法。通过实际应用，与传统方法相比，其准确度提升 3%以上，预测波动也降低到 1/3 左右。

参考文献：

[1] 陈邦杰, 郭书生, 庄园, 等.用电信息采集系统研究[J]. 中国科技信息，2016 （24）.
[2] 王倩.电力系统负荷预测研究综述与发展方向的探讨[J]. 中国高新技术企业,2013.
[3] 万志宏. 基于时间序列的电力系统短期负荷预测研究[D]. 广州:华南理工大学, 2012.
[4] 李昕,钱旭,王自强. 一种高效的高维异常数据挖掘算法[J]. 计算机工程,2010 (36).
[5] 张荣昌. 基于数据挖掘的用电数据异常的分析与研究[D]. 北京:北京交通大学,2017.
[6] 庞新生. 缺失数据插补处理方法的比较研究[J]. 统计与决策,2012 (24).
[7] 王振东. 聚类算法及其在客户行为分析中的应用研究[D]. 北京:北京邮电大学,2008.
[8] 占彤平.基于数据挖掘的客户用电行为分析研究与实践[J]. 电网技术,2014 , 38 (s2).
[9] 周涛,陆惠玲. 数据挖掘中聚类算法研究进展[J]. 计算机工程与应用,2012 ,48 (12).
[10] 段明秀. 层次聚类算法的研究及应用[D]. 长沙:中南大学,2009.
[11] 成冰,万磊,潘彦含, 等. 基于时间序列算法计算用电异常的研究[J]. 信息通信, 2018 (1).
[12] 张树京,齐立心. 时间序列分析简明教程[M]. 北京:北方交通大学出版社 ,2003.
[13] 沙川. Holt-Winters 时间序列模型参数估计和预测[D].南京:南京大学 , 2011.
[14] 周佃民,管晓宏,孙婕, 等. 基于神经网络的电力系统短期负荷预测研究[J].电网技术, 2002(26).
[15] 马继涛,李军,董元方, 等. 基于BP神经网络数学模型的短期负荷预测研究[J]. 长春理工大学学报(自然科学版),2007(30).
[16] 沈花玉,王兆霞,高成耀, 等. BP 神经网络隐含层单元数的确定[J]. 天津理工大学学报, 2008(24).

人民邮电出版社出版

基于金融 IC 卡的分层确定性钱包设计

夏天[1,2]，赵东艳[1,2]，张海峰[1,2]，唐晓柯[1,2]，刘亮[1,2]，甘杰[1,2]，崔炳荣[1,2]

（1. 北京智芯微电子科技有限公司国家电网公司重点实验室电力芯片设计分析实验室，北京 100192；
2. 北京智芯微电子科技有限公司北京市电力高可靠性集成电路设计工程技术研究中心，北京 100192）

摘　要：分层确定性钱包主要是比特币钱包的延伸。分层确定性钱包基于金融 IC 卡实现，由于 IC 卡具有软硬件安全保护，对信息安全提供有力保证，为分层去定性钱包设计安全实现提供有力的保护。首先介绍了比特币钱包技术原理，然后阐述了 IC 卡上 applet 设计原理，最后完成了基于金融 IC 卡的分层确定性钱包设计。

关键词：分层确定性钱包；IC 卡；设计

1　引言

随着人类技术不断进步，近几十年的货币发展经历多次革新，传统的货币支付技术已向“电子货币”转变，其中经历 ecash、HashCash 等。这些数字货币都会依赖于一个第三方系统的信用担保。直到比特币的出现，其没有中央服务器，也没有中央发行机构，将 PoW（proof of work）与共识机制结合在一起，首次从实践意义上实现了一套去中心化的“数字货币”系统。

与传统银行和支付系统不同，比特币系统具有去中心化（decentralized）、去信任（trustless）、集体维护（collectively maintain）、可靠数据库（reliable database）的特点，通过 PoW 来实现。利用了签名机制与时间戳服务器对每一笔交易进行验证，以确保货币不可伪造和重复支付。

金融 IC 卡是一种安全的卡片保护系统。金融 IC 卡以安全芯片为介质，在物理条件下具有数据不易被复制、密码不易被破解等优势，在软件上有独立的安全系统和国际规范——Global Platform 组织提出的卡片规范（Card Spec v2.2.1），并且遵循 Java Card 卡片规范的 Java 虚拟机。其中卡的通信方式是参照 ISO7816-4 规范来实现的，在软件层上在线下使用时为信息安全提供有力保证。

2　比特币钱包技术原理

比特币笼统来讲就是以一系列技术为基础的“数字货币”生态系统，其表示在一个系统中的单位货币；比特币具有较高的匿名性和安全性，用户可以通过网络来使用货币。

比特币是通过数字密钥、比特币地址与数字签名来确立的。数字密钥通过用户来生成，并且存储在一个文件或者是一个数据库（钱包）中。存储在用户钱包中的数字密钥不依赖比特币协议，跟其相对独立，密钥是通过用户的钱包软件生成并且加以管理，无需接入网络。

去中心化是比特币的核心准则，所以对于安全性具有重要的意义。在传统的支付模式中，需要借助金融机构或者第三方监管机构来完成；而比特币则是把责任和控制权都转交给了用户。

确定性钱包是一种内置的系统，它能够从一个单一的起点导出密钥。该起点通常指一个种子，能够使用户轻松备份和存储钱包，并且不需要任何额外的信息。在确定性钱包的系统中，用户可以从钱包主私钥或者那个种子中导出一个主公钥，但是他们不可以从主公钥中导出一个主私钥，这样便可以消除因钱包漏洞和安全缺陷所造成的危险。

分层确定性（hierarchical deterministic）比特币钱包（HD wallet）主要是用一个随机数来生成主（根）私钥，然后再用一个确定的、不可以逆的算法，基于主私钥生成任意数量的子私钥。

HD 钱包是确定性钱包的一种，它具有一种重要的特点——它具有彻底分离公钥与私钥的生成从而提升安全协议的能力。HD 钱包还具有备份便捷、更安全的私钥离线存放、便利的权限控制的优点。

人民邮电出版社出版

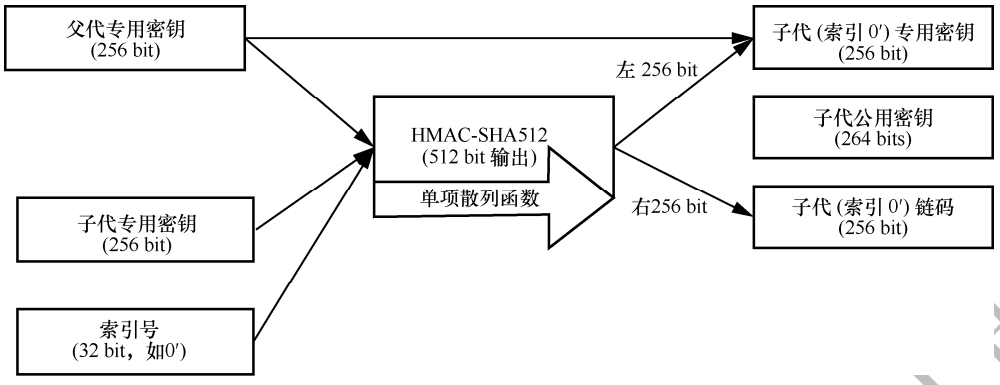


图 1　硬化方式衍生子密钥

3　IC 卡上 applet 设计原理

首先生成随机数（用于生成恢复钱包的助记词汇），然后生成 seed，使用密钥延展函数（key-stretching function）PBKDF2 将随机序列 S 扩展为 512 bit 的 seed。然后导出主密钥 m，并生成钱包账户 m/0'。 硬化方式衍生子密钥如图 1 所示。

（1）生成私钥

比特币地址（公钥 hash160 通过 Base58 编码）和私钥的生成分别放在终端和卡片中完成。

（2）签名

因终端生成的 message（交易框架）长度不确定，很可能需要多条 APDU 来容纳，为提高效率，考虑将 message 的 Doublehash 结果发送给卡片进行签名。这可能与标准 API 的签名功能不一致。卡片签名结果包括 r、s 共 64 byte，手机 App 收到签名之后需转为 DER 编码。对于多个输入的交易，则需计算多次签名。为兼容多输入的情况，不再使用 P1、P2 指定版本号。数据域为 KVN+Message 散列值的格式；响应数据为 KVN+Signature 的格式，考虑到一条指令只能容下 3 条签名数据，使用 P2 表示本条指令中包含的 message 个数，其值必须小于或等于 3。签名指令数据域和响应数据可为明文。KVN 使用 4 byte 表示，高 3 位 bit31~bit29 表示不同币种，低 14 位 bit13~bit0 表示密钥 index。

- seed 导出、导入。seed 导入与手机 App 钱包恢复相对应，从 seed 文件恢复。
- 设置、修改 PIN。
- 验证 PIN。

卡片设置 PIN 尝试次数。由于用户忘记 PIN 无法找回，可以对此不作要求。此时，用户仍可以从助记词汇恢复钱包，然后重置 PIN，重置 PIN 之后 seed 也需要重新备份。

4　结束语

近几年来，金融 IC 卡在国内迅速发展，而中国人民银行也全面推动金融 IC 卡的发展，制定了银联芯片卡安全规范和检测规范，建立了金融 IC 卡芯片检测认证体系，并且对金融 IC 卡在硬件安全和软件安全层面上进行了全面的检查，使得金融 IC 卡越来越安全。HD 钱包采用 IC 卡作为支付手段，在加强了支付安全的同时，也方便了比特币的使用。现在采用无中心化验证 IC 卡方案对比特币智能卡支付进行新探索。

参考文献：

[1] SWAN M. 区块链：新经济蓝图及导读[M]. 北京：新星出版社，2016.
[2] 谢伟玉，王洋阳. 区块链技术：颠覆式创新[R]. 2016.
[3] 王卫红，李鹏. 基于 IC 卡的比特币支付方式设计与实现[J]. 浙江工业大学学报，2015, 43(6): 618-623.
[4] LU Y Q. Research of current situation and risk of bitcoin[J]. Advanced Materials Research, 2014(989-994): 5066-5069.
[5] 陈闻. 币行：国内首家比特币钱包提供商[J]. 经理人，2014(4): 78-79.
[6] LIU J, CHEN S, ZHAO L. Lagrange interpolation attack against 6 rounds of Rijndael-128[C]//2013 5th International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS), November 4-6, 2013, Xi'an, China. Piscataway: IEEE Press, 2013: 652-655.

人民邮电出版社出版

基于可信身份认证的电网企业信息安全防控体系

范叶平，李玉，马冬，杨德胜，郭瑞祥
（安徽继远软件有限公司，安徽 合肥 230088）

摘　要：为了有效提高电网企业的信息安全风险防控能力，基于可信身份认证技术，构建了电网网络空间行为安全管控平台，并在此基础上提出了基于可信身份认证的电网企业信息安全防控体系，保证访问控制、安全审计、入侵防范等安全机制的有效实施，预先发现信息安全隐患，实现对信息安全风险的动态量化评估，并实现分级预警。不但节约了信息设备的维护成本，提升了资产使用效率，而且节约了人力成本，提升了信息网络的性能和安全运行的整体水平。

关键词：信息安全；可信身份认证；电网；生物识别；网络空间

1　引言

经过半个多世纪的发展，以互联网为代表的计算机网络已经成为真正全球意义的信息共享与交互平台，深刻地改变了人类社会政治、经济、军事、日常工作和生活的各个方面。随着信息技术的持续变革推进，计算机网络已不再局限于传统的机与机的互联，通过与人互动而形成的虚拟空间，包括互联网、通信网、广电网、物联网、社交网络、计算系统、通信系统、控制系统等[1]，成为融合互联网、社会网络、移动互联网、物联网、工控网等在内的泛在网络[2]，被视为继陆、海、空、天之后的“第五空间”[3]。

当前，网络已成为人们生产生活中不可缺少的重要基础，由于网络虚拟空间与物理世界呈现出不断融合、相互渗透的趋势，网络安全已超出技术安全、系统保护的范畴，成为遍布经济、社会等领域的综合安全。随着“互联网+”逐步融入电力能源等传统行业，并推动行业新技术、新模式和新业态的兴起以及能源互联网和智能电网的研究、建设的不断深入和国家电网公司“两化（信息化和工业化）”融合的逐步推进，电力企业呈现出广泛互联、高度智能、开放互动等全新特点[4]，网络与信息化应用由内网为主向内外网互补协同转变，网络接入由有线方式向无线方式演变，移动计算机、移动终端等设备开始大量接入，电子商城、充电桩等新业务也在不断拓展，衍生出新的网络边界。特别是智能电表电量信息查询和自动缴费的业务的应用使用户规模不断扩大，用户接入网络带来的权限、内容、数据、操作等各类风险不断增加，安全责任的落实更加复杂[5]。这些都对电力行业信息网络安全防护能力提出了新需求，电力行业信息安全面临着更加严峻的挑战，一旦安全防护体系被外部攻击突破，将直接威胁电网数据安全、业务系统安全和工控系统安全，造成重大社会经济损失。

虽然网络空间安全已经得到普遍重视，但与日趋乏力的安全防护手段相比，攻击手段却日趋高级，呈现手段专业化的趋势，导致用户侧的安全威胁增加以及终端设备安全漏洞频发，网络信息安全面临严峻挑战。近年来一些新的焦点问题相继显露，如云计算、大数据相关的新概念、新应用的不断出现，使个人数据隐私泄露问题日益凸显；2010 年，伊朗核电站的工业控制计算机系统受到震网病毒攻击，导致核电站推迟发电[6]。上述种种安全事件的发生，凸显了个人的身份认证在信息安全中的关键重要性，只有实现了真实有效的身份认证，才能保证访问控制、资源控制、入侵防范、安全审计等信息安全机制的有效实施。本文以人的身份管理为基础，开展电网网络空间行为安全管控平台开发，构建了面向电网企业的基于可信身份认证的信息安全防控体系，不仅创新了信息安全防控模式，而且提升了防控水平。

基金项目：国家电网公司总部科技基金资助项目（No.B36818180169）

人民邮电出版社出版

2 总体架构设计

由于生物识别、大数据、深度学习等技术的发展，可信身份认证业务模式迎来发展契机，它的任务是检验信息系统用户的合法性和真实性[7]。在安全性上，生物识别技术的破解或盗取的难度较密码明显加大，同时由于人体特征具有不可复制的唯一性，人体的生物特征也不存在复制、失窃的可能[8]。在记忆和便捷性上，人体的生物特征不会被“遗忘”，并且可以随身“携带”，随时可用，与传统身份识别方式相比优势明显[9]。

通过对电网企业信息安全管控主体要素（主要体现为人的身份和行为）进行分析，研究身份鉴别技术、生物特征加密技术、身份认证融合识别技术、跨域互操作技术、安全审计技术和隐私保护技术，根据电网企业信息安全的防控需要，构建了一套电网网络空间行为安全管控平台，提供多级别的身份鉴证服务、多元化的身份凭证管理服务以及统一身份认证服务，满足电网企业信息安全防控的差异化需求。总体架构从主体要素、技术支撑、框架模型和服务模式 4 个方面进行设计，如图 1 所示。

其中，主体要素包含外委人员、主业人员、合作伙伴、客户等电网企业人员身份信息，基于公安部居民身份认证平台生成的身份副本信息以及行为记录数据信息，为实现“认证手段统一、访问分级授权”的信息安全防控机制提供可靠的人员数据信息保障。

技术支撑主要对可信身份认证关键技术进行研究，利用网络多种身份认证识别方法，构建人脸、指纹等多模生物特征识融合身份识别模型，建立通用技术组件模型，使相关技术满足业务需求和应用要求。

框架模型由身份量化模型、身份鉴别模型和隐私保护模型组成。其中，身份量化模型通过现有的应用或服务形式采用账户/口令、令牌、证书、生物特征等身份定义，同时考虑姓名、生日、身份证号、生物特征等身份属性，采用身份量化手段对身份进行标识，从而实现身份凭证的建立。身份鉴别模型按照鉴别凭证的不同，可采用基于口令的身份鉴别方式、基于算法变换的身份鉴别方式、基于生物特征的身份鉴别方式以及基于行为模式的身份鉴别方式进行凭证验证，实现身份识别和认证。针对不同的身份认证安全需求，可采用人脸、指纹等单因子或人脸+密码+短信、人脸+指纹+证件等多因子身份鉴别方式，实现多级可信的身份认证。隐私保护模型对用户身份中的敏感信息进行保护，一般采用基于生物特征的匿名化隐私保护方法、基于生物特征的数据失真隐私保护方法以及基于生物特征的数据加密隐私保护方法，通过对用户身份

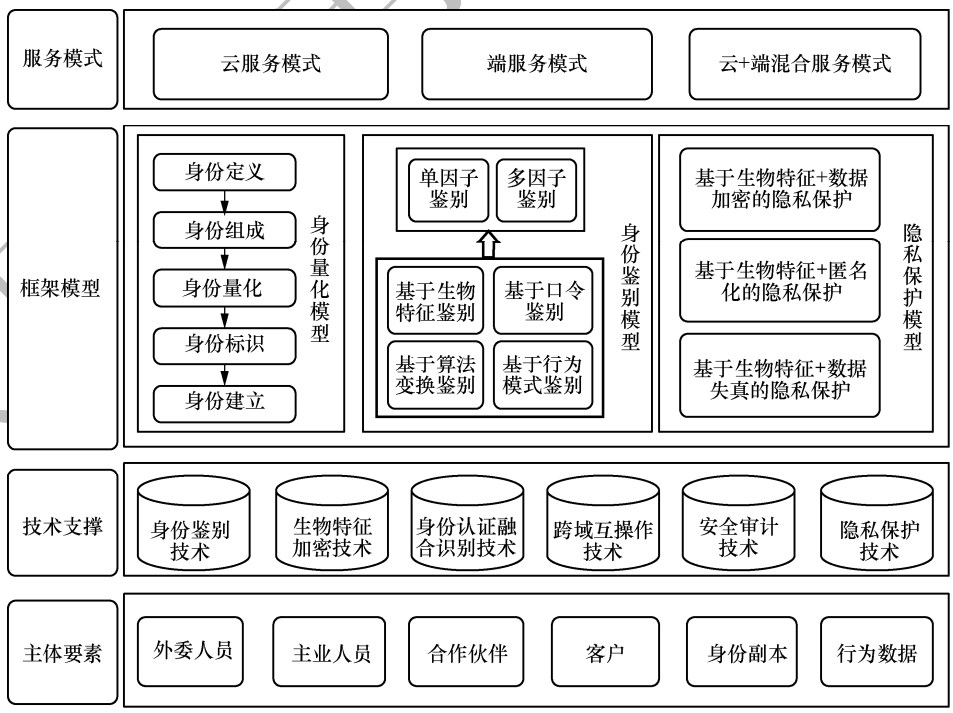


图 1　电网网络空间行为安全管控平台总体架构

敏感信息进行度量及保护，尽量避免隐私泄露，最大限度兼容并满足不同业务场景的隐私保护需求。

服务模式由云服务模式、端服务模式和云+端混合服务模式组成。其中，端服务模式针对网络稳定不足、部署空间有限等特定业务场景应用，利用超强的嵌入式前端运算能力和优化的生物特征识别算法，通过在前端认证设备嵌入可信身份认证模块，将算法运行在设备端，并进行身份数据信息存储，减少数据传输量及后台存储压力，实现完全基于本地的计算能力来完成认证，主要解决实时离线的本地可信身份认证问题；云服务模式针对基建、后勤等多业务场景人员量大分散的特点，通过在后台部署可信身份认证模块，集中对所采集的人员身份数据信息进行管理，由后台对多个业务场景间的身份完成认证，并可结合记录的行为大数据分析提前预测用户行为，主要解决越来越多的身份信息数量和不同业务间身份信息共享需求带来的端服务模式认证难题；云+端混合服务模式结合云、端服务的各有优势互为补充，通过前端设备对采集到的身份数据信息立即进行处理，同时支持身份数据信息的部分前端存储，减少身份数据信息上传的网络带宽压力和后台计算存储压力，并可在网络闲置时将身份数据信息全部更新备份到后台，实现前端+后台的智能组合认证，降低云服务模式下的认证时延，满足多梯度身份服务需求。

3 电网网络空间行为安全管控平台建设

3.1 逻辑架构

电网网络空间行为安全管控平台设计分采集层、数据层、分析层、管控层共 4 层，如图 2 所示。

通过智能终端、认证终端等手段采集身份信息、认证记录信息、设备位置信息、移动应用交互信息、行为操作信息等数据，并集中存储在云资源数据中心，基于云资源数据中心开展身份画像、行为轨迹等分析，为管控层提供可信身份管理、可信行为管控、安全风险预警等管控手段，提供用户管理、应用控制、敏感信息审计等功能，及时有效地监测异常行为、用户误操作等，解决因接入互联网而引发的访问违规、信息泄露、应用违规等诸多问题，有效实现对行为安全的动态感知，实现对信息安全风险的动态量化评估，并实现分级预警。

3.2 主体关系设计

电网企业信息安全管控主体要素是电网网络空间行为安全管控平台建设的重要部分，包括国网人资系统和外委人员数据源、公安部居民身份认证平台、电网网络空间行为安全管控平台、电网企业业务应用和用户 4 个部分组成。

其中，国网人资系统和外委人员数据源作为业务身份提供方，为电网网络空间行为安全管控平台提供基础人员数据和业务凭证级身份认证；公安部居民身份认证平台作为身份认证提供方，为电网网络空间行为安全管控平台提供可信身份副本和法定信任基础级身份认证；电网企业业务应用和用户作为身份认证使用方，提出身份可信认证和行为评估需求；电网网络空间行为安全管控平台作为身份认证服务方，提供身份可信认证和行为评估服务。

身份认证使用方、身份认证服务方、业务身份提供方和身份认证提供方 4 个部分相互连结、相互关联，从而形成主体要素关系的四方模型，主体关系如图 3 所示。通过基础人员数据和可信身份副本对身份信息的互为补充、共同优化完善以及对基于认证记录和行

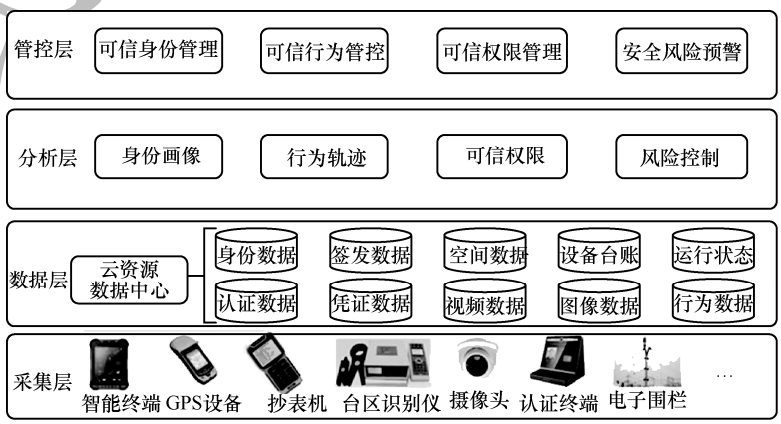


图 2　电网网络空间行为安全管控平台逻辑架构

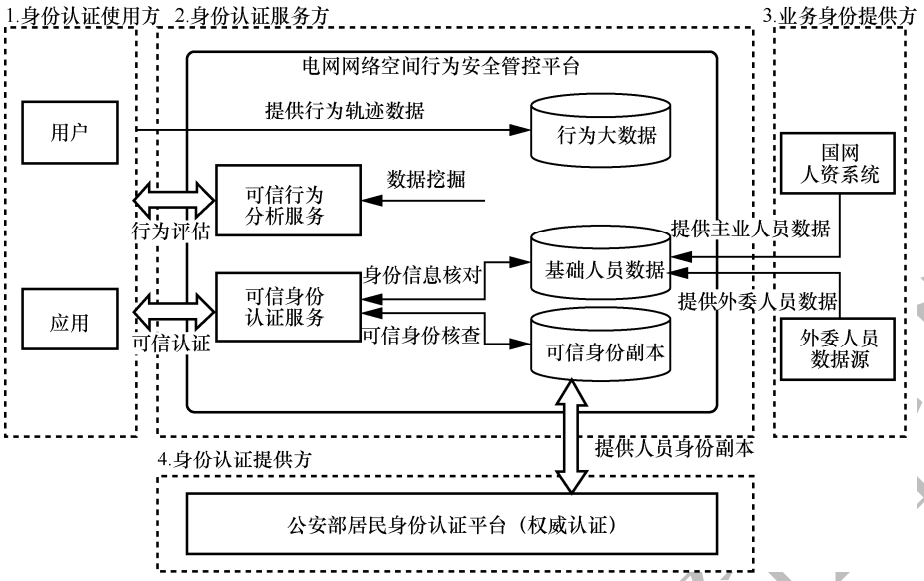


图 3　电网网络空间行为安全管控平台逻辑架构主体要素关系示意图

为记录建立的行为大数据的挖掘分析，电网网络空间行为安全管控平台可确保身份的真实可靠性。

3.3　业务应用

通过对电网企业信息安全防控现状和需求进行分析，依托电网网络空间行为安全管控平台，以法定身份证件为根，构建“五个层次、两个保障”的电网企业信息安全防控体系，其中，5 个层次包含可信基础、可信支撑、可信服务、可信应用和服务用户，两个保障包含监管机制和安全机制，如图 4 所示。

（1）可信基础

可信基础是电网企业信息安全防控体系中最底层的信任源，是信任链传递的根源，所有的信任活动都以此为基础向上层衍生和传递。针对电网企业业务类型多样、信息安全防控复杂的特点，通过从各种身份信息数据来源收集大量结构化和非结构化数据，给出可信身份认证所需的主体要素模型。

（2）可信支撑

可信支撑包括可信身份认证、图像识别等多种技术手段和电网网络空间行为安全管控平台。通过技术迭代更新不断升级优化电网网络空间行为安全管控平台，形成更上一层的信任链，为可信服务提供认证依据。

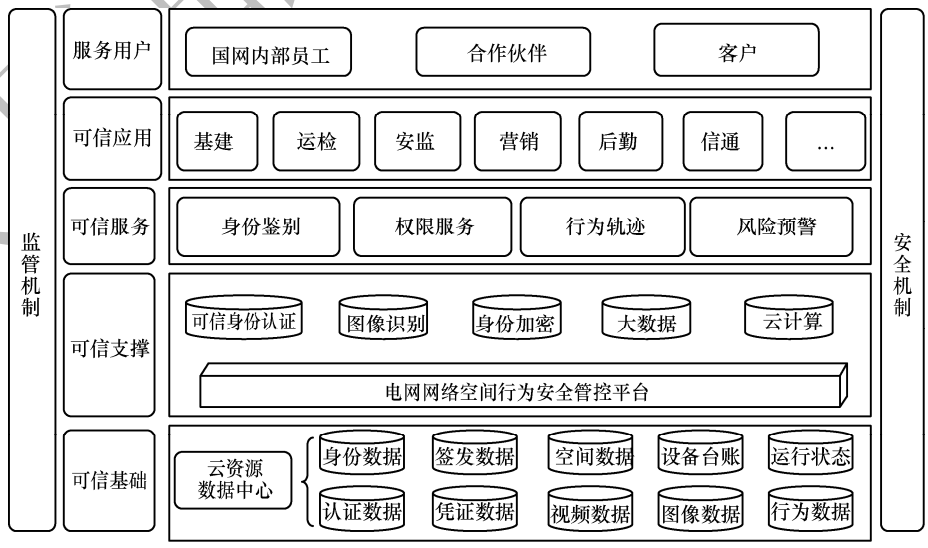


图 4　基于可信身份认证的电网企业信息安全防控体系示意图

（3）可信服务

可信服务是指提供的各类认证服务，包括身份鉴别、权限服务等功能，实现身份凭证、身份属性鉴别，资源访问控制，行为记录追溯，信任分类评价，风险分级预警等多层次、多维度的认证服务，满足可信应用中的多场景、多类型业务应用认证需求。

（4）可信应用

可信应用是指各类应用系统通过可信服务提供的各类应用服务，包括后勤营业厅自助业务办理人员身份认证、营销移动支付身份认证、信通信息系统实名认证等。

（5）服务用户

服务用户是指依托可信服务开展可信应用的实体，如公司内部员工、合作伙伴、客户等，保证用户活动的可靠性、可追溯性和安全性。

（6）监管机制和安全机制

通过相关规范和制度的制定、主管部门的监督、以及安全机制的建立，提升信息安全综合保障能力。

4 结束语

电网企业信息安全威胁和防护问题，不仅关系到国家安全，更与人们的日常生活息息相关。可信身份认证作为当前人工智能领域最热门的研究方向之一，吸引了越来越多信息安全领域研究人员的关注，取得了一系列的重要研究成果[10-12]。本文结合生物识别、深度学习等新兴前沿技术的深化应用，构建了一套电网网络空间行为安全管控平台，并在此基础上提出了基于可信身份认证的电网企业信息安全防控体系，为电网企业信息安全防控提供可信身份认证技术支持，减少因身份安全监管不足带来的信息安全隐患，提高了信息安全防范能力和管理水平，对电网企业的经营管理和未来发展具有重要意义。

参考文献：

[1] 方滨兴. 从层次角度看网络空间安全技术的覆盖领域[J]. 网络与信息安全学报, 2015, 1(1): 2-7.

[2] 罗军舟, 杨明, 凌振, 等. 网络空间安全体系与关键技术[J]. 中国科学: 信息科学, 2016, 46(8): 939-968.

[3] 沈昌祥. 用主动免疫可信计算 3.0 筑牢网络安全防线营造清朗的网络空间[J]. 信息安全研究, 2018, 31(4): 282-302.

[4] 王栋, 陈传鹏, 颜佳, 等. 新一代电力信息网络安全架构的思考[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(2): 6-11.

[5] 张朋伟. 智能电网隐私保护研究[D]. 南昌: 华东交通大学, 2017.

[6] 彭勇, 江常青, 谢丰, 等. 工业控制系统信息安全研究进展[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2012, 52(10): 90-102.

[7] 田启川, 张润生. 生物特征识别综述[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(12): 4401-4406, 4410.

[8] 方淑仙, 张立武, 王惠莅. 基于人脸生物特征的身份鉴别技术发展趋势研究[J]. 信息安全研究, 2017, 3(6): 533-537.

[9] 孙宇千, 陈灏中, 刘述忠. 生物识别技术在商业银行应用发展分析[J]. 信息安全研究, 2017, 3(11): 1006-1010.

[10] 黄锐诚. 网络用户隐私信息保护仿真研究[J]. 计算机仿真, 2017, 34(11): 308-311, 412.

[11] 汪志鹏, 杨明慧, 吕良. 基于 eID 的网络可信身份体系建设研究[J]. 信息网络安全, 2015, 177(9): 97-100.

[12] 宋宪荣, 张猛. 网络可信身份认证技术问题研究[J]. 网络空间安全, 2018, 97(3): 69-77.

人民邮电出版社出版

基于冷热冲击实验的电力芯片 TSV 封装可靠性研究

乔彦彬 [1,2]，邵瑾 [1,2]，李建强 [1,2]，陈燕宁 [1,2]，张海峰 [1,2]，赵东艳 [1,2]

（1. 北京智芯微电子科技有限公司国家电网公司重点实验室电力芯片设计分析实验室，北京 100192；
2. 北京智芯微电子科技有限公司北京市电力高可靠性集成电路设计工程技术研究中心，北京 100192）

摘　要：作为三维封装技术之一，硅通孔互连技术（TSV）能有效地利用空间减小封装尺寸，具备低功耗、小尺寸、高密度等优势。在电力芯片封装中广泛应用。TSV 可靠性研究尚不成熟，TSV 样品经过冷热冲击实验后，使用 FIB 对 Cu/Si 界面进行精细加工并观察，研究 TSV 在冷热冲击条件下的可靠性表现及失效机理。实验前后结果对比发现，Cu 填充物体积增大，并溢出 TSV 通孔，EBSD 结果前后对比显示，Cu 晶粒尺寸在冷热冲击实验后出现明显增大；通过样品截面处理可发现 Cu/Si 界面存在开裂分离现象；可在 TSV 样品裂纹尖端处观察到不规则的 Cu 晶粒，该晶粒加大了裂纹扩展所需的剪切应力，对裂纹延伸起到了阻挡作用。

关键词：冷热冲击；TSV 可靠性；FIB 技术；裂纹扩展

1　引言

硅通孔（through silicon via，TSV）互连技术作为最有希望的三维封装技术，通过芯片和芯片之间、晶圆和晶圆之间制作垂直导通来实现芯片间互连[1]。TSV 能够使芯片在三维方向堆叠的密度最大、芯片之间的互连线最短、外形尺寸最小，并且大大改善芯片速度和功耗的性能[2-3]，成为目前电子封装技术中最引人注目的一种技术。

TSV 分为填充层、绝缘层及阻挡层，填充层材料一般有 Cu、W 等；绝缘层一般采用 SiO_2 材料；Ti 因稳定的化学性能常作为 Cu 和 SiO_2 之间的阻挡层[4-5]。上述不同材质之间热膨胀系数有很大不同，热膨胀系数失配会引起热应力集中，严重情况下会造成封装体膨胀开裂脱离。TSV 的热机械应力和材质热膨胀系数差异性是制约 TSV 可靠性的关键因素[6]。针对该情况，国内外学者通过有限元仿真模拟和热应力可靠性实验的等方法展开了大量研究，但相关研究仍未完全成熟，TSV 可靠性问题亟待解决。

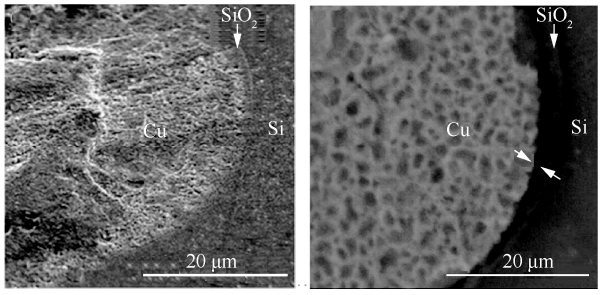
本文采用冷热冲击实验周期性急剧加热和冷却实现高温差（–40℃~125℃）环境，TSV 在剧烈温度变化中累积的热应力损伤超过材料极限强度时会导致器件失效。结合目前国际最先进的 FIB（focused ion beam，聚焦离子束）手段制备失效临界点纳米级高精度样品，观察 TSV 中材料微观结构变化和晶粒尺寸变化，研究和掌握 TSV 在剧烈温度变化条件下的损伤模式和机理。

2　实验方法

本文通过深反应离子刻蚀法在 5 寸的硅片晶圆上刻蚀获得 TSV 孔，经测量 TSV 平均长度为 70 μm，平均直径为 35 μm。使用化学气相沉积法在 TSV 中生成约 3 μm 厚的绝缘层 SiO_2，使用电镀法将 Cu 填充进 TSV 孔。硅片经激光切割后抛光清洗，抽取真空并密封于石英管后放入冷热冲击箱中。冷热冲击实验温度区间为–40℃~125℃，升降温过程时间均为 30 s，样品在最高和最低温度的保温时间均为 30 min。TSV 样品经过 300 周期–40℃~125℃冷热冲击实验后，使用聚焦离子束技术对 Cu/Si 界面进行精细加工，观察 Cu/Si 界面分离情况。在 Cu/Si 界面裂纹尖端处制备纳米级厚度 FIB 样品，分析裂纹延展情况。使用电子背散射（electron back-scattered diffraction）技术分析 TSV 结构变化和 Cu 晶粒尺寸变化。

3　实验结果与分析

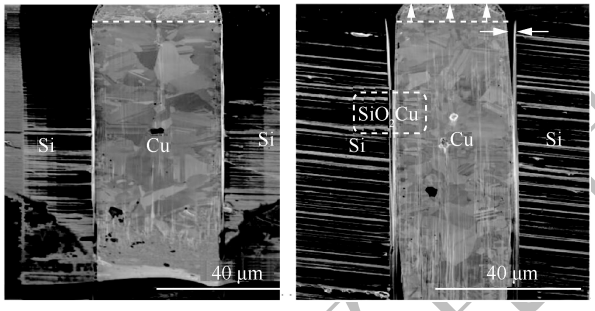
图 1 显示了冷热冲击前后 TSV 表面的变化。如图 1（a）所示，在冷热冲击试验前，TSV 的表面光滑清晰，Cu、Si 两种材质结合紧密且界面无分离。TSV 经 300 周期冷热冲击实验后如图 1（b）所示，TSV 表面产生褶皱，Cu、Si 两种材质发生分离，分离产生的裂缝向 TSV 内部延伸。



（a）实验前　　（b）实验后

图 1　冷热冲击前后 TSV 表面的变化

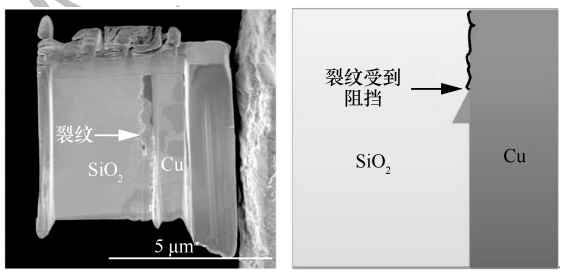
图 2 显示了冷热冲击前后 TSV 截面的变化。如图 2（a）所示，在冷热冲击试验前，TSV 的截面 Cu、Si 两种材质结合紧密且界面无分离，Cu 柱上下两端均与 Si 孔平齐。经 300 周期冷热冲击实验后如图 2（b）所示，TSV 截面可以明显观察到 Cu 柱上下两端凸出 Si 孔，且 Cu、Si 两种材质发生分离并产生裂缝，选取裂纹尖端（方框）处制备 FIB 样品。



（a）实验前　　（b）实验后

图 2　热冲击前后 TSV 截面的变化

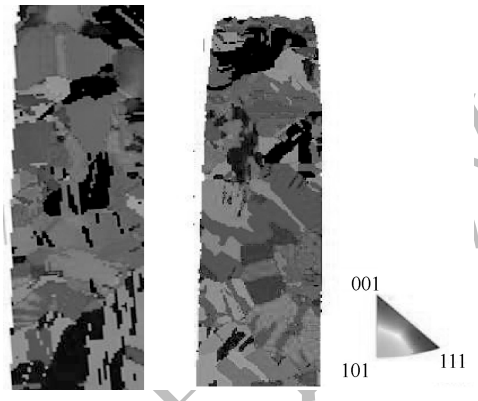
如图 3（a）和图 3（b）所示，冷热冲击实验中产生的裂纹可通过 FIB 技术在其尖端处截取纳米级厚度样品，该 FIB 样品可以清楚地观察到裂纹沿 Cu/Si 界面向下延伸，当遇到不规则 Cu 组织后，裂纹扩展所需剪切热应力增大，裂纹延伸受到阻挡。



（a）TSV 裂纹尖端（FIB 样品）　　（b）裂纹示意

图 3　冷热冲击实验中产生的裂纹

如图 4（a）和图 4（b）电子背散射结果所示，冷热冲击实验后 TSV 内部 Cu 晶粒取向无明显改变，同时 EBSD 计算发现，Cu 晶粒平均体积有所增大。



（a）实验前　　（b）试验后

图 4　TSV 电子背散射结果

表 1 列出了 TSV 中常用材料的热膨胀系数[7]，从表 1 中可明显看出，TSV 中 Si、Cu、SiO_2 的热膨胀系数有明显的差异。热膨胀差异性会引起 TSV 中各材质在不同温度下产生较大的热应力，导致器件某些部位开裂，影响器件性能。TSV 中 Cu 热膨胀系数要远大于 Si，在冷热冲击实验中迅速加热到 125℃高温状态下，Cu 受热体积膨胀，而 Si 体积基本无明显变化，Cu/Si 界面存在剪切热应力；而当温度由 125℃迅速降温至–40℃时，Cu 体积收缩并脱离 Si 界面，Cu/Si 界面处产生裂纹。在冷热冲击温度交替变化下，TSV 结构发生变化，随冲击周期数量的增加，Cu/Si 界面裂纹向 TSV 内部延伸，并最终导致两者界面完全分离，因此高温差变化条件下，热机械应力和材质热膨胀系数差异性是导致 TSV 失效的重要因素。

表 1　材料属性参数

材料	CTE/（ppm·K^{-1}）	杨氏模量/GPa	泊松比
Cu	17	110	0.35
Si	2.3	130	0.28
SiO_2	0.5	71	0.16
BCB	40	3	0.34
Ti	8.6	116	0.3
Ta	6.8	186	0.34

4　结束语

冷热冲击实验前后结果对比发现：

- Cu 填充物体积增大，并溢出 TSV 通孔；

- 通过样品表面和截面处理，发现 Cu/Si 界面存在开裂分离现象；
- 在 TSV 样品裂纹尖端处观察到不规则 Cu 晶粒，该晶粒加大了裂纹扩展所需的剪切应力，对裂纹延伸起到了阻挡作用；
- EBSD 结果前后对比显示，Cu 晶粒尺寸在冷热冲击实验后出现明显增大。

参考文献：

[1] HENRY D, CHERAMY S, CHARBONNIER J, et al. Development and characterisation of high electrical performances TSV for 3D applications[C]//Electronics Packaging Technology Conference, August 10-13, 2009, Beijing, China. Piscataway: IEEE Press, 2009: 528–535.

[2] GU S, MARCHAL P, FACCHINI M, et al. Stackable memory of 3-D chip integration for mobile applications [C]// IEEE International Electron Devices Meeting, December 15-17, 2008, San Francisco, USA. Piscataway: IEEE Press, 2008: 1-4.

[3] BAKIR M S, MEINDL J D. Integrated interconnect technologies for 3D nanoelectronic systems[M]. Boston: Artech House, 2009.

[4] SAKUMA K, ANDRY P S, TSANG C K, et al. 3D chip-stacking technology with through-silicon vias and low-volume leadfree interconnections[J]. IBM Journal of Research & Development, 2008, 52(6): 611-622.

[5] WOLF I D, CROES K, PEDREIRA O V, et al. Cu pumping in TSVs: effect of pre-CMP thermal budget[J]. Microelectronics Reliability, 2011, 51(9): 1856-1859.

[6] RANGANATHAN N, PRASAD K, BALASUBRAMANIAN N, et al. A study of thermal mechanical stress and its impact on through silicon via[J]. Journal of Micromechanics and Micro Engineering, 2008, 18(7): 075018.

[7] SUNG W L, CHIOU B S. Barrier layer effect of tantalum on the electromigration in sputtered copper films on hydrogen silsesguioxane and SiO2[J]. Journal of Electronic Materials, 2002, 31(5): 472-477.

人民邮电出版社出版

基于区块链的共享充电桩平台方案设计

涂因子，夏冰冰，杨震，甘杰，王尧
（北京智芯微电子科技有限公司，北京 100192）

摘　要：目前我国现有充电基础设施建设与电动汽车发展极不协调，成车多、桩少问题普遍存在，未来将大力发展私人充电桩建设，以满足日益增长的新能源汽车需求。为了合理利用闲置的充电桩资源，基于区块链和密码学技术，提出一种基于区块链的共享充电桩平台方案，该方案采用去中心化的分布式架构，不仅可以保证充电桩设备的安全性，而且具有易扩展的优势。以点对点交易的形式来有效降低交易成本，采用密码学技术实现用户匿名接入平台和进行交易，能够有效保护用户隐私。同时该平台可以将充电桩所有信息数据整合起来，打破数据孤岛，实现数据价值的最大化。

关键词：区块链；共享充电桩；去中心化；匿名；数据共享

1　引言

电动汽车产业的发展对于节能减排、缓解环境压力、实现可持续发展具有非常重要的意义。我国电动汽车产业在实现跨越式发展的同时，也面临现有充电基础设施建设及运营模式与电动汽车发展很不协调的问题，国内充电桩建设严重滞后。鼓励和发展私人充电桩是推动电动汽车发展的关键，美国和日本等国家的私人充电桩数量远大于公共桩数量。我国也高度重视私人充电桩建设，国家能源局出台的《2018 年能源工作指导意见》指出，统一电动汽车充电设施标准，优化电动汽车充电设施建设布局，建设适度超前、车桩相随、智能高效的充电基础设施体系。2018 年年内计划建成充电桩 60 万个，其中公共充电桩 10 万个，私人充电桩 50 万个。

私人充电桩具有明显的共享经济特征：创造互惠价值，充电桩主和电动车主都能从中获益；属于未充分利用资产，除满足自用外，私人充电桩大量时间处于闲置状态；网络易访问，智能充电桩为人机交互以及远程控制提供了可靠的技术保证；降低所有权需求，共享经济模式可以降低独自拥有充电桩的需求；共享充电桩的同时，还能实现停车位共享，为需求方提供便利，为供给方提供价值，实现双赢的格局。

基于“互联网+”环境，采用共享经济运行模式，建立一个高效、安全、互信的充电桩交易平台十分必要，不少资本开始布局共享充电桩，以解决电动汽车充电难的问题。例如北京市充电设施公共服务管理平台和广州亿电邦科智能网络科技有限公司的车电网云平台，都允许充电桩运营商和私人充电桩接入，以实现中国新能源汽车充电生态圈互联互通、开放共享。

但现有的共享充电桩平台主要基于中心化的结构，存在一系列问题：

- 中心化构架无法避免系统存在的漏洞，易遭受攻击，从而导致大量的终端设备被敌手控制，形成僵尸网络；
- 个人隐私数据被泄露的情况时有发生，中心化的管理平台无法自证清白；
- 第三方管理平台通常需要交易手续费，增加交易成本；
- 中心化的充电桩平台存在架构僵化的问题，随着充电桩数量的几何级数的增长，平台规模扩展性差；
- 目前充电桩网络运营都是由政府或企业主导的自组织网络，涉及跨多个运营商的协作时，建立信用的成本很高，用户需下载多个 App 才能使用各品牌的充电桩，使用十分不便；
- 多个中心化运营商容易造成“信息孤岛”，难以实现充电桩数据共享。

区块链技术[1]具有分布式点对点、去中心化、共识信任机制、信息很难篡改、开放性、匿名性等特点。区块链技术特征与充电桩共享的应用需求具有很好的结合点，可以避免中心化平台带来的弊端。基于区块

人民邮电出版社出版

链技术可以构建运行生态化、认证公平化、合约智能化、信息透明化的应用系统。德国的莱茵公司（RWE）和初创公司 Slock.it 合作，成立了子公司 Innogy SE，发起 BlockCharge 电动车充电项目，推出了连接电动汽车车主、公共和私有充电站的区块链交易平台 Sharge&Charge。国内的齐林海等人[2]也基于区块链和闪电网络提出了充电桩的共享经济模式。

区块链技术是目前研究的热点，本文基于区块链、智能合约和密码学技术，设计了一种新的共享充电桩平台方案，充许电桩运营商、私人充电桩以及第三方机构自由加入，以提升充电桩利用率。和现有的中心化的共享充电桩运营方式相比，本文方案具有安全高效、点对点交易和规模易扩展的优势，能够有效降低交易成本、保护用户隐私信息。本文最后给出了方案的体系架构，并指出了区块链共享充电桩平台安全高效实现的一些关键技术。

2 关键技术介绍

2.1 区块链技术

本节主要介绍区块链、共识机制、智能合约的基础，为后续方案的介绍奠定基础。

2.1.1 区块链

区块链技术起源于 2008 年日本名为中本聪（Satoshi Nakamoto）的学者的奠基性论文《比特币：一种点对点电子现金系统》，区块链是一个分布式账本，具有去中心化的关键优势。它基于密码学原理而不是基于信用，任何达成一致的双方直接支付，不需要第三方中介的参与，解决了“数字加密货币”领域长期以来必须面对的两个重要问题：双重支付问题和拜占庭将军问题。区块链具有去中心化、时序数据、集体维护、可编程和安全可信等特点。区块链的结构如图 1 所示。

图 1 是区块链的简化结构，每个区块中都包括一个或多个交易，通过 Hash 计算，根据 Merkle 树的形式最终得到 Merkle 根，保存在区块头上。每个区块头都保存着上一个区块的 Hash 值，由此形成一个链式结构。这意味着若修改某个区块上的交易信息，必须修改该区块后面的所有区块信息。交易通过共识机制写入区块链中。区块链的交易由一个或多个输入、输出组成，同样由链式结构组成的比特币也是通过一个交易转到另一个交易上，即当前交易的输入是上一个交易的输出，一个交易可以有多个输出，但每个输出只能作为一个输入，以防止双重支付。

2.1.2 共识机制

共识机制是分布式账本为了使所存储信息的准确性与一致性设计的一套机制。当前区块链技术使用的共识机制主要有：工作量证明（proof of work，PoW）、权益证明（proof of stake，PoS）[3]、授权权益证明（delegated proof of stake，DPoS）、拜占庭容错算法（practical byzantine fault tolerance，PBFT）[4]。其中，PoW 效率较低，PBFT 主要用于联盟链，考虑到共享充电桩平台的业务和性能需求，本文采用 DPoS 机制，下面主要对其进行介绍。

DPoS 机制类似于董事会决策投票，即让股东节

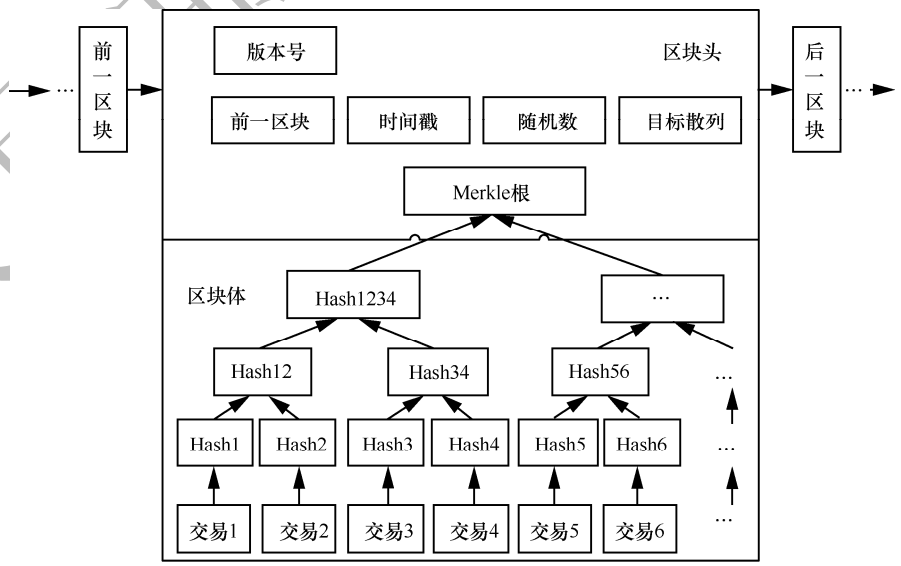


图 1 区块链结构

点根据其持有的股份权益授予某个代表，并由拥有股份最多的前 101 个代表组成董事会，轮流执行产生新区块的任务。这些代表节点可以获得一定的奖励，但必须缴纳一定的保证金以此来保证其履行职责。若代表节点在给定的时间片内不能生成区块，则区块生成权限交给下一个时间片对应的代表节点。一旦出现不称职的行为，股东们可以行使权力将其废除，并选取其他节点代行职责。持股人可以随时通过投票更换这些见证人。DPoS 的这种设计使得区块的生成更为快速，也更加节能。

股份权益可以根据充电桩主在最近一个月的交易总金额度量决定，即交易量越多，股份权益也越大。代表节点通常为充电桩运营商，也可以由私人充电桩主担任，奖励可以从交易的手续费中获得。

2.1.3 智能合约

智能合约[5]由一组代码（合约的函数）和数据（合约的状态）组成，区块链本身不能运行这些代码，由节点本地的环境来运行部署合约代码时，会将代码部署到区块链中一个区块，进而被所有节点获知，记录调用合约时每个节点都会根据输入运行相应的代码，然后达成共识，确保结果的正确性与一致性。通过智能合约，电动车主和充电桩主可以制定灵活多样的应用场景，满足多样化的应用场景。

2.2 密码学技术

区块链是一个公开查询的账本，为了保护用户身份信息的隐私，允许用户以匿名的方式加入共享充电桩平台，需要采取一些专用的密码算法实现，除了基本的公钥密码和 Hash 函数外，下面对环签名和隐身地址技术进行简单介绍。

2.2.1 环签名

环签名由 Rivest 等人[6]于 2001 年提出，环签名是一种简化的类群签名，它因为签名由一定的规则组成一个环而得名。环签名中只有环成员，没有管理者，不需要环成员间的合作。在环签名方案中，环中一个成员利用他的私钥和其他成员的公钥进行签名，而验证者只知道签名来自这个环，不知道谁是真正的签名者。环签名解决了对签名者完全匿名的问题，环签名允许一个成员代表一组人进行签名而不泄漏签名者的信息，因此提供了一种保证匿名的巧妙方法。

环签名最初是由 Monero 部署的 CryptoNote 协议的一部分，用于隐藏发件人的地址。在共享充电桩平台方案中，同样可以利用环签名实现用户身份匿名性，保护交易发起方的隐私信息。

2.2.2 隐身地址

根据最初的设计，比特币需要接收比特币的人向发送方提供地址。隐藏地址[7]反转了接收比特币和向发送方转发地址的过程。通过隐藏地址，发送方可以创建地址，并在交易中使用。虽然地址是新的，但发送方知道接收方有一个密钥可以打开它。隐藏地址为交易的双方提供了一种无需向系统中其他人传播信息就能确定目的地址的方法，并且不需要共享可能受接收方控制的其他地址。隐藏地址技术可以保护共享充电桩平台交易接收方的隐私信息，从而实现身份匿名性。

3 基于区块链的共享充电桩方案

随着软件规模、用户群体的急剧增长，系统功能、性能以及安全需求的多样化，单个系统已经很难满足要求，系统之间不再彼此孤立，需要互利共生，建立基于区块链的共享充电桩的方案是发展趋势。本节首先给出共享充电桩方案的参与主体，然后说明平台的运行流程。

3.1 参与主体

基于区块链技术的共享充电桩平台如图 2 所示，主要的参与主体如下。

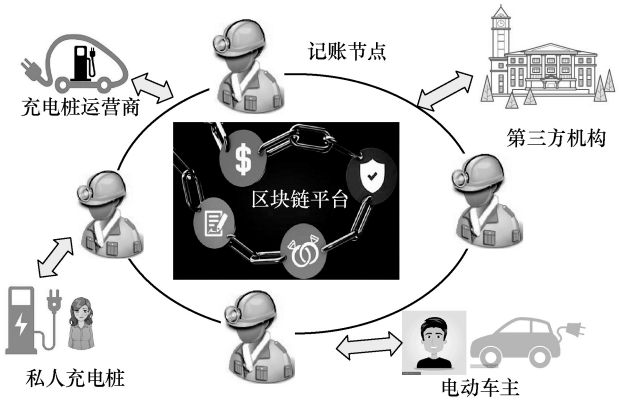


图 2 基于区块链的共享充电桩平台

区块链平台：采用分布式架构，主要由记帐节点进行维护，平台允许参与主体的接入，提供充电桩的查询定位、交易支付结算和交易记录以及数据查询与分析等功能。

充电桩主：充电桩主可以是私人充电桩主，也可以是公司级别的充电桩运营商，他们是充电桩的主要建设和供应者，通过接入区块链平台，以共享的方式

人民邮电出版社

充分利用闲置的充电桩，并获取相应的收益。

电动车用户：电动车用户是充电桩的需求方，通过区块链共享平台查询定位附近闲置的充电桩，和充电桩主直接进行点对点交易，完成电动车充电需求，并进行交付结算。

记账节点：维护区块链交易记录备份，收集用户提交的交易记录，并对其合法性进行验证，通过 DPoS 共识机制，将新提交的交易记录保存在区块链中，平台的各个参与者均可充当记录节点，获取相应的奖励。

第三方机构：例如政府机构通过对充电桩的位置和数量进行分析，可以对电动车以及充电桩发展规划进行管理决策；电力公司通过对交易数据进行分析，调节电力负荷进行，控制电力供应。除此之外，通过对共享充电桩平台数进行分析，还能挖掘更多具有潜在商业价值的应用，提供更多灵活多样的服务，如维修服务、分时租赁、保险以及广告投放等。

3.2 共享充电桩平台运行流程

下面介绍基于区块链的共享充电桩平台运行流程。

（1）用户注册和加入

当充电桩主和电动车用户申请加入共享充电桩平台时，可以选择匿名或者实名认证的方式。对于公司级的充电桩运营商，为了提升宣传或影响力，通常会采用实名认证方式，通过数字证书方式实现。对于个人用户，无论是充电桩主还是电动车用户，为了保护隐私，一般会采用匿名方式，可以通过公钥密码和环签名算法实现。充电桩主将充电桩接入平台，并通过客户端管理和控制充电桩。电动车用户则通过客户端进行充值，或利用客户端提供的支付接口完成电动车充电付费需求。

（2）充电桩登记

当充电桩主想要共享其充电桩时，需要向区块链平台发布其充电桩的信息，类似于发布一条交易记录。仿照比特币的交易形式，重新定义其交易数据结构：充电桩主信息、充电桩描述、地理位置、价格、用户公钥、签名信息。其中，充电桩主信息描述字段介绍充电桩的拥有者，若选择匿名的方式，此信息仅为充电桩主的公钥信息；充电桩描述字段介绍充电桩的基本信息，如编号、型号、充电接口等；地理位置字段描述充电桩的位置信息，并在地图上进行标记，方便电动车用户查询；价格字段主要描述共享充电桩的使用费用；用户公钥字段即是该充电桩主的公钥信息；最后对整个交易进行签名。然后将该交易以广播形式发出去，由记录节点通过 DPoS 共识机制发布到整个区块链上，如图 3 中区块 k 发布的充电桩信息登记交易记录。

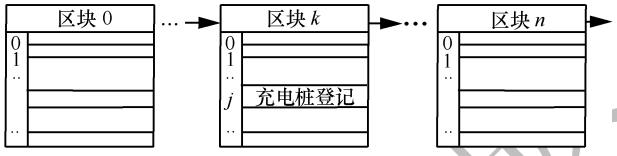


图 3　区块链中充电桩登记交易记录

（3）充电桩查询

当电动车需要充电服务时，首先通过客户端查询附近的共享充电桩信息，由区块链平台返回查询结果。查询可以采用在线或离线的方式，离线查询需要把区块链所有的数据记录保存在本地，电动车主根据查询结果选择可用的充电桩。

（4）共享充电桩交易

根据查询的充电桩信息，电动车主和充电桩主签订智能合约，根据充电量支付费用给充电桩主，该交易的数据结构见表 1。其中，充电桩信息标识充电桩编号等信息；仿照比特币区块链交易的结构，输入为该充电桩上一次交易的索引，由此同一充电桩的所有交易根据先后顺序由链式结构串联起来；输出为充电桩主和电动车主身份信息以及此次交易充电量和充电费用，若要保持匿名，身份信息为空即可；最后由充电桩主对交易进行环签名，并通过广播形式发出去，经由记账节点利用 DPoS 共识机制发布到区块链平台上，如图 4 所示。

表 2　区块链中交易的数据结构

	充电桩信息
输入	上一次交易索引
输出	充电桩主信息
	电动车主信息
	充电量
	充电费用
	签名

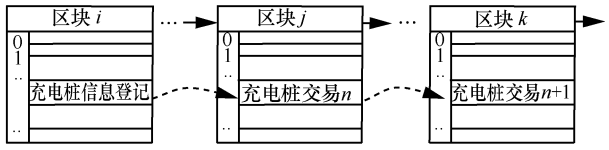


图 4　区块链中交易的链式交易

（5）共享充电桩状态标记

若因充电桩发生故障或因其他原因需要取消共享时，此时充电桩主只需要发布一条交易取消充电桩共享，该交易的数据结构见表 3，将可用状态标记为不可用即可。同理，若充电桩恢复共享使用，同时只需要发布一条交易将其可用状态标记为可用即可。

表 3　共享充电桩状态标记交易结构

	充电桩信息
输入	上一次交易索引
输出	充电桩主信息
	可用状态
	签名

（6）共享充电桩数据分析

共享充电桩是一个开放的平台，随着规模的不断扩大，将产生越来越多的数据。用户可以选择将相应的身份信息匿名，其中充电桩的数量、充电桩的位置、电动车的充电量等数据公开，第三方机构可以对其进行大数据分析。例如供电公司可以根据共享充电桩网络用电量的波动变化提供电力负载平衡，充电桩运营商可以根据现有充电桩位置及使用情况判断充电桩的需求，以更好地对充电桩布局建设进行规划；充电桩维修厂商可以利用平台查询出故障的充电桩信息，以提供更加及时便捷的服务。

4　系统体系架构

基于区块链的共享充电桩平台架构如图 5 所示，底层为点对点（P2P）的分布式网络；中间层提供存储、安全、加速和区块链服务，其中数据存储采用分布式账本技术。随着交易量越来越大，区块链数据也越来越大，可以采用数据库的方式存储；为了保证安全和用户隐私，主要利用公钥密码、Hash 函数、环签名和隐身地址等密码学技术；为了提升交易的速度，可以采用闪电网络、隔离见证（segregated witness）、IBLT（invertible bloom lookup table，可逆式布鲁姆查找表）[8]等技术，闪电网络可以将大量交易放到区块链之外进行，隔离见证可以提升签名验证的高效性，IBLT 提升区块在网络中传播的效率。区块链服务主要有 DPoS 共识、智能合约[9]和侧链技术，利用智能合约可以设计更加灵活的交易形式，侧链技术为共享充电桩平台和其他区块链进行通信和数据共享提供了解决方法。上层应用主要是客户端和 API，除满足充电桩管理和用户充电的基本需求外，还提供数据查询和分析的功能。

5　结束语

随着新能源汽车的大力推广和普及，人们对充电桩的需求变得越来越大，但目前我国充电桩基础设施建设严重滞后，未来私人充电桩建设将成为主流。为了充分利用闲置的充电桩资源，本文提出一种基于区块链技术的共享充电桩方案，该方案融合了 DPoS 共识机制，利用智能合约实现交易的多样化场景，采用环签名和隐身地址等密码学技术保护用户的隐私信息。与传统的充电桩运营方式相比，该方案具有去中心化、点对点交易和规模易扩展的优势。该方案不仅充分利用了私人充电桩资源，还降低了交易成本，实现了数据共享和价值最大化。本文主要针对方案进行设计，后续仍需要对其开发实现进行深入研究。

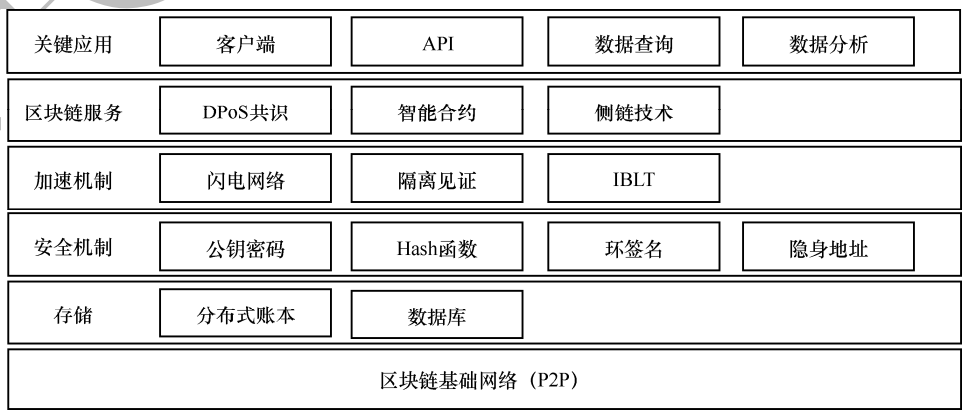


图 5　区块链数据交易平台架构设计

人民邮电出版社

参考文献：

[1] 袁勇，王飞跃．区块链技术发展现状与展望[J]．自动化学报，2016，42(4)：481-494.

[2] 齐林海，李雪，祁兵，等．基于区块链生态系统的充电桩共享经济模式[J]．电力建设，2017，38(9)：1-7.

[3] COURTOIS N T. On the longest chain rule and programmed self-destruction of crypto currencies[J]. 2014: arXiv:1405.0534.

[4] CASTRO M, LISKOV B. Practical Byzantine fault tolerance[C]//The 3rd Symposium on Operating Systems Design and Implementation, New Orleans, USA. Berkeley: USENIX Association, 1999: 173-186.

[5] CHRISTIDIS K, DEVETSIOKIOTIS M. Blockchains and Smart Contracts for the IoT[J]. IEEE Access, 2016: 2292-2303.

[6] RIVEST R L, SHAMIR A, TAUMAN Y. How to leak a secret[C]//The 7th International Conference on the Theory and Application of Cryptology and Information Security: Advances in Cryptology, December 9-13, 2001. Heidelberg: Springer-Verlag, 2000: 552-565.

[7] COURTOIS N, MERCER R. Stealth address and key management techniques in blockchain systems[C]//The 3rd International Conference on Information Systems Security and Privacy, Feb 19-21, 2017, Porto, Portugal.[S. l.:s. n.], 2017: 559-566.

[8] OZISIK A P, ANDRESEN G, BISSIAS G, et al. Graphene: a new protocol for block propagation using set reconciliation[C]//Data Privacy Management, Cryptocurrencies and Blockchain Technology(ESORICS 2017), September 11-15, 2017, Oslo, Norway. Heidelberg: Springer, 2017: 420-428.

[9] DELMOLINO K, ARNETT M, KOSBA A, et al. Step by step towards creating a safe smart contract: lessons and insights from a cryptocurrency Lab[C]//Financial Cryptography and Data Security(FC 2016), February 22–26, 2016, Nairobi, Kenya. Heidelberg: Springer, 2016: 79-94.

人民邮电出版社出版

基于区块链共识机制的能源互联网交易

周国亮[1]，吕凛杰[1]，李刚[2]
（1. 国网冀北电力有限公司技能培训中心，河北 保定 071051；
2. 华北电力大学控制与计算机工程学院，河北 保定 071003）

摘　要：区块链是一种全新的分布式基础架构与计算模式，具有广阔的应用前景。未来能源互联网海量交易面临严重的信任危机，而区块链利用共识算法实现的多方信任机制有助于解决信用危机。基于拜占庭容错共识算法设计了能源互联网海量交易方案，通过智能合约将生产数据和消费数据发送给区块链预选节点进行共识，由预选节点确认后写入区块链；预选节点根据记录在区块链中的供需信息，实现能源最优化交易；交易的结果记入区块链，并由调度系统执行，完成能源点对点直接交易，提高能源利用效率。

关键词：区块链；能源互联网；智能合约；共识算法；拜占庭容错

1　引言

能源互联网将实现广域范围内能源的双向按需传输和实时动态平衡，最大限度地提高清洁能源的接入比例，是未来能源发展的主流趋势[1]，其核心是提倡公平、对等、可信的能源自由接入和交易。未来的能源互联网将由亿万交互的终端组成，包括微电网、光伏系统、智能设备、分布式计算以及能源管理软件等。面对复杂的运行环境，区块链技术能够实时、自动地验证和确保不同节点之间的海量交易，有望成为能源互联网的技术基础，是能源互联网实施过程中的备选信息基础架构方案之一。

区块链的核心功能是在保证安全性和透明性的前提下实现价值转移，利用区块链智能合约在能源互联网海量主体之间建立可信、自主、自动的能源调度交易，完成需求和消费双方的自动匹配，实现自组织、自调节的能源系统，极大地提高能源效率、降低管理成本，实现能源互联网的高效运行[2]。

电力交易是指针对电力商品和服务进行的买卖活动，包括电能交易、辅助服务交易、输电权交易等。交易本质上也是一种共识机制，即在发电、用电及设备能力之间达成共识（平衡）。然而在区块链支撑下的能源互联网，供需之间通过点对点完成直接交易，区块链共识机制对其进行审核、验证，对满足电力系统网架安全特性的交易提供许可，反之取消（不能达成共识）。基于区块链的能源互联网交易比传统自上而下的能源配电系统更有效率，可以节省整体开支，同时展示分布式账本的力量。

2　区块链应用及共识算法介绍

2.1　区块链的应用

区块链技术是利用块链式数据结构来验证与存储数据、利用分布式节点共识算法来生成和更新数据、利用密码学的方式保证数据传输和访问的安全、利用由自动化脚本代码组成的智能合约来编程和操作数据的一种全新的分布式基础架构与计算范式[3]。区块链技术被认为是继大型机、个人电脑、互联网、移动/社交网络之后计算范式的第五次颠覆式创新，是人类信用进化史上继血亲信用、贵金属信用、央行纸币信用之后的第四个里程碑。

在物联网时代，海量设备借助中心节点来维持信任和交互，存在成本高、效率低等问题，核心数据存储在中心化节点，存在信息安全隐患。IBM 公司公布的 ADEPT 项目是利用区块链打造去中心化的物联网，在 ADEPT 系统中，当数十亿个设备自动交互信息时，区块链将发挥分类账簿的作用，利用区块链技术在海量的智能设备之间建立了低成本的相互直接沟通的渠道，同时又通过去中心化的共识机制提高了物联网的

基金项目：国网冀北电力有限公司科技基金资助项目（No.520184170002）

人民邮电出版社出版

安全性和私密性，通过可靠的数学加密算法保护用户的隐私。最终实现设备的自我管理和维护，将物联网转变为一个去中心化、自组织、自调节的系统，实现无需中介信任的点对点价值传输、安全的分布式数据分享，构造了一个使用区块链技术的物联网分布式平台。

美国纽约的 TransActive Grid 项目是微电网商 LO3 公司和区块链技术商 ConsenSys 公司共同研发的。该项目通过区块链网络连接太阳能发电家庭和购电家庭，不需要人员参与就可以管理、记录交易。通过去中心化的方式实现点对点交易，居民可将自家太阳能板产生的过剩电力出售给对面街道的家庭，交易以区块链网络连接。这种方式代表了未来社区管理能源系统的发展趋势。家庭能源生产者可以把多余的电力卖给邻居，社区可以保存当地的能源资源，减少能源浪费，提高微观电力和宏观电力的利用率。

德国莱茵集团（RWE）通过区块链技术降低能源传输的费用，帮助企业削减成本，探讨了利用区块链智能合约对用户进行认证和管理开票的程序。针对传统电力系统中心化机构存在的问题，参考文献[4]提出弱中心化管理电力交易的方法，即利用区块链技术以智能合约的形式存储电力交易信息，并自动执行资金转移，记录智能电表采集的电能数据，中心机构仅对达成的交易进行安全校核和阻塞管理。其他文献介绍了区块链在军事[5]、电力领域[6]、大用户直供电[7]、虚拟电厂交易[8]等的应用与展望。

2.2 区块链共识机制

共识机制是指在没有中心组织的情况下如何对某个交易的有效性达成一致。区块链上的共识机制有多种，包括工作量证明（proof of work，PoW）、权益证明（proof of stake，PoS）、Pool 验证池、实用拜占庭容错（practical Byzantine fault tolerance，PBFT）等，不同的共识机制具有不同的特点，适用于不同的工作场景。目前常用的区块链共识机制包括如下几种。

工作量证明机制是目前比特币采用的共识机制。其含义是工作量越大，收益越高。比特币在 Block 的生成过程中使用了 PoW 机制，一个符合要求的 Block Hash 由 N 个前导零构成，零的个数取决于网络的难度值。PoW 需要浪费大量的计算算力，因而以太坊采用了 PoS 机制。PoS 类似股权凭证和投票系统，因此也叫“股权证明算法”，由持有最多（token）的人来公示最终信息。

Pool 验证池基于传统的分布式一致性算法，整合数据验证机制，是目前联合链大范围在使用的共识机制。其不需要代币也可以工作，基于成熟分布式一致性算法，可实现秒级共识验证。但去中心化程度不如比特币，更适合多方参与的多中心商业模式。

实用拜占庭容错算法也是一种常见的共识证明，常用于联合链。PBFT 是一种基于严格数学证明的算法，需要经过 3 个阶段的信息交互和局部共识来达成最终的一致输出。PBFT 是一种状态机副本复制算法，即服务作为状态机进行建模，状态机在分布式系统的不同节点进行副本复制。它与之前两种都不相同，PBFT 以计算为基础，也没有代币奖励。由链上所有人参与投票，少于（N-1）/3 个节点反对时，就获得公示信息的权利。

PBFT 属于状态机拜占庭协议，将算法复杂度由指数级降低到多项式级，是 IBM Hyperledger Fabric 实现和推荐的共识算法，采取一个节点一票的方案确定记账结果，也是适用于能源互联网交易共识的有效算法。

3 基于共识机制的交易方案

3.1 能源互联网采用联合链

当前，区块链主要分为 3 类：公有链、联合（行业）链、私有链。其中联合链和私有链是广义的私链，而比特币是公有链。其中联合链由某个群体或行业内部指定多个预选的节点为记账人，每个区块的生成由所有预选节点共同决定（预选节点参与共识过程），其他接入节点可以参与交易，但不能记账，其他任何人可以通过该区块链开放 API（application programming interface，应用程序编程接口）进行限定查询。预选节点权限完全对等，在不需要完全互信的情况下可以实现数据的可信交换。联合链中每个节点可以有较为复杂的读写权限，部分权限的节点会向所有人开放，而部分记账或者核心权限的节点只能向许可的节点开放，这样可以部分解决能源互联网效率和安全问题。R3 银行区块链联合就采用了联合链模式。针对将来能源互联网的交易特性，普通的公有链共识算法在效率及安全性方面很难满足其要求，采用联合链可有效避免公有链的多种问题。

3.2 执行过程

基于区块链的特征，设计了基于 PBFT 能源交易共识过程，如图 1 所示。

人民邮电出版社出版

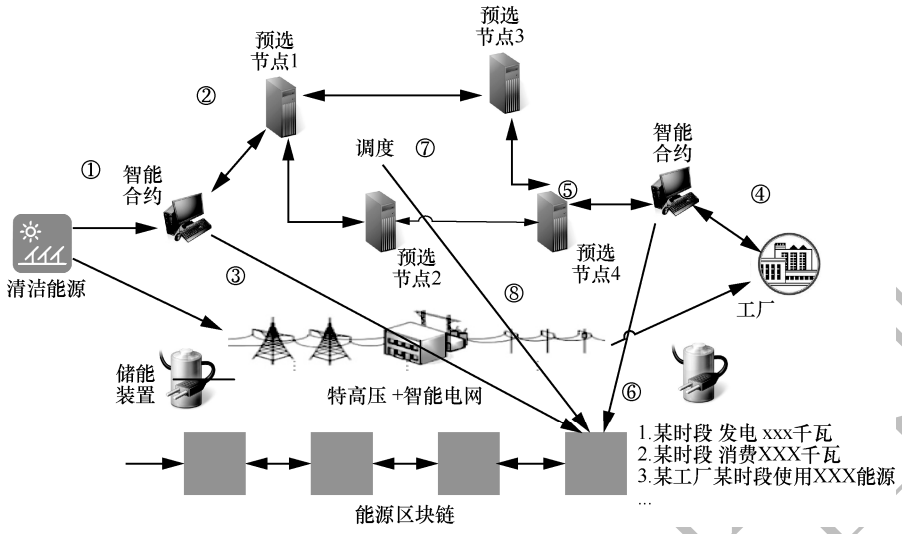


图 1　共识算法执行过程

如图 1 所示，基于共识机制的分布式能源交易方法具体包括以下步骤：

- 各种清洁能源（如太阳能和风能）的发电信息，可利用存储在区块链中的大数据预测在下一个时段的发电量；
- 通过内置智能合约技术的设备向区块链网络预选节点发送请求确认，预选节点间利用拜占庭容错共识算法进行共识，并将确认结果返回智能设备，具体共识过程如图 2 所示；

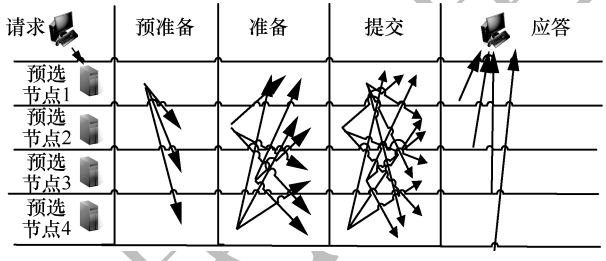


图 2　拜占庭容错算法

- 利用智能合约将达成共识后的清洁能源发电信息写入区块链，形式为“某设备某时段的发电信息”；
- 各个用电客户（如工厂等）将自己某个时段的用电需求信息发送给智能合约设备；
- 内置智能合约的设备向区块链预选节点发送此客户的需求信息，由所有预选节点共识确认；
- 确认后的信息由智能合约写入区块链，形式为“某客户某时段需要消费信息”；
- 预选节点根据记录在区块链中的供需信息，在满足电力或能源约束的条件下，考虑距离、时效及能源损耗的基础上，开展能源最优化交易配置，交易基于分布式共识算法，交易过程示意图如图 3 所示；

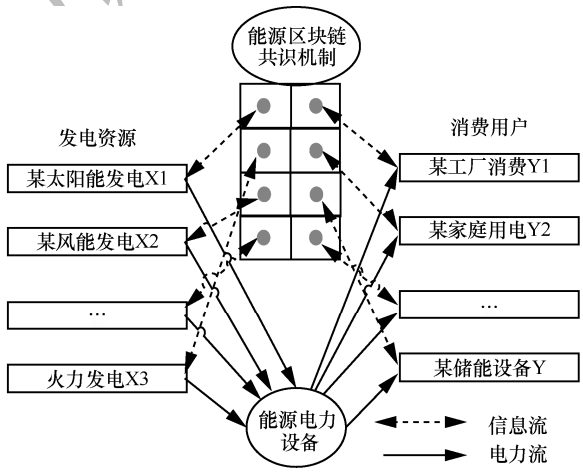


图 3　交易示意图

- 交易的结果记入区块链，并驱动电力系统自动执行，在能源过剩时，采用储能设备存储过剩能源；考虑储能周期、成本的基础上，合理调度储能资源，避免资源浪费。

如图 3 所示，能源区块链基础上的分布式交易示意图利用收集到的精准供需信息，在供需之间建立最佳匹配，实现能源的点对点交易；在交易基础上，能源电力设备完成传输和转换。

在对能源区块链操作的过程中，所有的写入操作需要由满足拜占庭容错机制的共识算法完成，其共识

过程如图 2 所示，整个共识过程由所有预选节点参与，参照拜占庭容错算法实现，整个过程分为 5 个阶段。

- 请求：某内置智能合约的智能设备向预选节点 1 发送数据写入请求。
- 预准备：预选节点 1 将要写入的数据发送给其他所有预选节点，如图中的预选节点 2~节点 4，同时对数据进行分析。
- 准备：预选节点 2~节点 4 分别分析自己收到的数据，将分析结果（即是否确认）写入的数据发送给其他节点，比如预选节点 2 将自己的确认信息发送给节点 1、节点 3、节点 4。
- 提交：预选节点根据自己接收到的确认信息及数据分析结果，确定是否要提交确认信息到智能设备，如果不确认则不发送。
- 应答：智能设备根据收到的应答信息，根据预先设定的规则，比如 51%的预选节点确认，即达成共识，则数据写入区块链，否则数据不能写入区块链，共识失败。

4 结束语

区块链以其去中心化、开放性、自治性、信息很难篡改等特性，成为数字化浪潮下一个阶段的核心技术，并成为构建价值互联网的基础。通过在能源互联网中引入区块链技术，实现安全、可信、对等的点对点能源交易，构建信息安全的自组织、自调节能源互联网，能有效降低成本，促进能源互联网落地。

参考文献：

[1] 董朝阳, 赵俊华, 文福拴, 等. 从智能电网到能源互联网: 基本概念与研究框架[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(15): 1-11.

[2] SWAN M. Blockchain: blueprint for a new economy[M]. O'Reilly Media, Inc, 2015: 1-10.

[3] 袁勇, 王飞跃. 区块链技术发展现状与展望[J]. 自动化学报, 2016, 42(4): 481-494.

[4] 郜雪, 孙宏斌, 郭庆来. 能源互联网中基于区块链的电力交易和阻塞管理方法[J]. 电网技术, 2016, 40(12): 3630-3638.

[5] 廉蔺, 朱启超, 赵焰. 区块链技术及其潜在的军事价值[J]. 国防科技, 2016, 37(2): 30-34.

[6] 颜拥, 赵俊华, 文福拴, 等. 能源系统中的区块链: 概念、应用与展望[J]. 电力建设, 2017, 38(2): 12-20.

[7] 欧阳旭, 朱向前, 叶伦, 等. 区块链技术在大用户直购电中的应用初探[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(13): 3737-3745.

[8] 佘维, 胡跃, 杨晓宇, 等. 基于能源区块链网络的虚拟电厂运行与调度模型[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(13): 3729-3736.

人民邮电出版社出版

基于区块链与云计算融合机制的车联网安全体系

梁伟强[1,2]，王静智[1,2]，黄兆桐[1,2]
（1. 国网电子商务有限公司，北京 100053；2. 国网雄安金融科技集团有限公司，北京 100053）

摘　要：车联网正如火如荼地发展，随之而来的车联网信息安全问题不容小觑。基于云计算的强大弹性计算能力和区块链的很难篡改和很难伪造的去中心化共享总账特点，设计了基于区块链与云计算融合机制的车联网安全体系，对车联网的相关信息进行分类和差异化存储，充分保障数据安全。

关键词：车联网；信息安全；区块链；云计算

1　引言

车联网（Internet of vehicles，IOV）是指通过在汽车上集成的 GPS 定位、RFID（radio frequency identification，射频识别）、传感器、摄像头和图像处理等电子元器件，按照约定的通信协议和数据交互标准，在 V2V（vehicle to vehicle，车辆与车辆）、V2R（vehicle to roadside unit，车辆与路侧单元）、V2H（vehicle to home，车辆与人）、V2I（vehicle to Internet，车辆与互联网）之间进行无线通信和信息交换的大系统网络。通过计算机技术，这些大量的车辆信息可以被分析和处理，从而计算出不同车辆的最佳路线、及时汇报路况和安排信号灯周期，是实现智能交通管理、智能动态信息服务和车辆智能化控制的一体化网络。

车联网主要由端、管、云和大数据 4 层系统构成。

- 第一层（端系统）：端系统是汽车的智能传感器，负责采集与获取车辆的智能信息、感知行车状态与环境，是具有车内通信、车间通信、车网通信的泛在通信终端，同时还是让汽车具备 IOV 寻址和网络可信标识等能力的设备。
- 第二层（管系统）：解决车辆与车辆、车辆与路侧单元、车辆与互联网、车辆与人等的互联互通，实现车辆自组网及多种异构网络之间的通信与漫游，在功能和性能上保障实时性、可服务性与网络泛在性，同时它是公网与专网的统一体。
- 第三层（云系统）：车联网是一个云架构的车辆运行信息平台，它的生态链包含了 ITS（intelligent traffic system，智能交通系统）、物流、客货运、危特车辆、汽修汽配、汽车租赁、企事业车辆管理、汽车制造商、4S 店、车管、保险、紧急救援、移动互联网等，是多源海量信息的汇聚，因此需要虚拟化、安全认证、实时交互、海量存储等云计算功能，其应用系统也是围绕车辆的数据汇聚、计算、调度、监控、管理与应用的复合体系。
- 第四层（大数据平台）：通过整合、计算、应用数据，将云平台与 4S 店、整车厂、保险公司以及互联网公司进行连接，为其提供基于数据的用户画像、营销策略等支持服务。

车联网从诞生至今一直存在争议，也一直未被消费者所信赖，其原因是其安全性还没有绝对的保障。现阶段的车联网普及程度还未达到，它强大的智能表现需要通过更多用户使用同等应用之后产生的大数据表现出来。当车联网成为未来汽车市场的主流产品之后，由此带来的安全问题恐怕会更频繁地出现。虽然相关企业也一直在做产品的安全维护、升级，但是世界上本就没有绝对安全的防火墙，用户也肯定不希望自己驾驶的车辆有随时被他人接管的风险。毕竟车辆安全关乎生命安危，因此安全性是车联网发展的重中之重。不能只看到车联网如何使人们的生活更加高效、便捷，而忽视其随时可能带来的危险。安全问题将决定车联网行业的未来。

2　车联网信息安全的挑战

当前车联网信息安全最大的挑战是数据安全问题。

智能汽车可以形象地比喻成具有 4 个轮子的“电脑”，也可以将车联网称之为高速移动的信息系统。

人民邮电出版社出版

车联网的组成除了包含车辆和机械两大学科的关键技术外，还跟 4 门信息技术学科紧密相关：第一是信息安全，第二是人工智能，第三是物联网技术，第四是移动互联网技术。其中，随着车联网应用范围的不断扩大，安全攻击的次数也在相应增多。举例如下。

- 美国菲亚特克莱斯勒汽车公司的召回事件：黑客利用互联网技术，侵入一辆行驶中的切诺基吉普车的“Uconnect”系统，远程操控了该车的加速和制动系统、电台和雨刷器等设备。
- 宝马 ConnectedDrive 数字服务系统遭入侵事件：黑客能利用该漏洞以远程无线的方式侵入车辆内部，并打开车门。
- 特斯拉 Model S 遭入侵事件：网络安全专家通过 Model S 存在的漏洞打开车门并开走，同时还能向 Model S 发送“自杀”命令，令在车辆正常行驶中突然关闭系统引擎。
- 此外，奥迪、保时捷、宾利和兰博基尼等大众旗下品牌的 MegamosCrypto 防护系统也遭到攻破。

车联网之所以会出现高度危险的信息安全事件，原因有以下 3 个方面。

- 车联网主要联结智能汽车，智能汽车装配有大量的车载电脑。一台智能汽车的车载智能设备通常不少于 100 台，程序代码不少于 5 000 万行，而整个智能驾驶代码将会有 2 亿多行。如此庞大的代码量，难免会有漏洞或偶发性故障。
- 车联网要联网，首先要有车内网络，它要通过各种无线的方式接入其他相关的设备或互联网，因此会存在无线网络接入的安全问题。
- 智能汽车一旦接入互联网，互联网原有的安全问题会派生到车联网系统。而且当互联网安全问题出现在高速移动的信息系统中，它的危害性会被进一步扩大。车联网的第三个目标是依靠对大数据的采集，采用人工智能和大数据挖掘技术，通过决策来代理人对机械控制的部分功能，这本身就存在较大的风险。

通过对车联网特点的分析，再对比互联网信息安全，可以将车联网的安全问题归纳为以下 3 个方面。

- 首先，车联网的高动态性会使得攻击行为更难以检测和发现。对于汽车来说，它的无线组织组成的拓扑结构具有高动态性；而对于互联网来说，很多设备是静止的，位置是固定的，即使是移动互联网，它的移动速度也比车慢得多，因此车联网的拓扑结构改变会更快。
- 其次，无线传输效率跟运行速度具有相关性，在高速移动的行为模式下，效率会受到高动态性的影响。
- 最后，车联网由于整车特点，使其成为各种攻击目标的重要性变得更大。车辆本身的经济价值和附加价值要比一般的互联网连接设备更重要，车辆发生危害的社会影响和危害程度比互联网更大，开放性使得车联网的攻击方式比互联网更多。

3 车联网信息安全攻击类型

从攻击方式上来看，第一是智能终端攻击，如宝马汽车的 Connected Drive 模块已经暴露有两种风险；第二是互联网络攻击，如 360 公司破解了比亚迪的汽车云服务；第三是无线接入攻击；第四是直接安全攻击，通过汽车本身接口，直接入侵车辆控制系统。

就攻击者本身而言可以分为以下 4 类。

- 驾驶员攻击者：典型场景是，车一旦联网后，如果要对某些道路和资源进行独占，驾驶员可能会发出一些虚假的信息。如在一条本不拥堵的道路上发布“道路拥堵”信息，就可以强占该道路资源。
- 网络黑客攻击者：黑客可能利用汽车的某些漏洞或采用无线接入的监听模式来对汽车的漏洞进行攻击，从而实现自己的特定目标。
- 数据篡改攻击者：某些车联网权威和管理部门的工作人员可能会对数据本身进行攻击，如交通部门对交通事故的信息进行更改或保险部门对某个内部数据进行更改以获取利益。
- 恶意攻击者：如果要制造一些恐怖行为的话，恶意攻击者可以利用车联网的危害性造成社会影响，而这些都可能成为车联网的攻击者。

另外，车联网的整个信息安全可以分为 4 个层面。

- 第一是系统安全，不管是车载终端还是车载主机，本身都存在硬件和软件系统的安全问题。此类安全问题可通过身份鉴别、访问控制、安全审计、预行防范以及恶意代码检测等手段进行防护。
- 第二是应用安全，车载终端的一些应用系统也可能存在安全漏洞。此类安全问题一般通过安全测试和恶意监测的手段来防范。
- 第三是网络安全，由于互联网本身存在安全问

人民邮电出版社出版

题，在车联网的环境下，其危害程度和安全风险会被进一步放大。

- 除以上安全风险外，车一旦联网后，根据车联网的数据采集、智能分析和决策控制的程序动作，其面临的最大问题就是数据安全问题。要实现数据的互通、数据的共享以及决策控制，如何保证数据安全是车联网最具挑战性的课题。此外如何对数据进行可靠性验证和隐私保护同等重要。

4 云计算+区块链的车联网数据安全模型

车联网的数据安全，主要体现在以下 5 个方面：一是车联网数据的访问控制和认证问题；二是车联网数据在分享过程中的信任问题；三是车联网共享中的安全保护问题；四是主机厂数据汇聚成为数据中心，数据存储的安全保护问题；五是车辆数据采集过程中的隐私泄露问题。5 个方面的问题可以归结为两个核心：隐私和可靠性。而对车联网本身而言，数据隐私保护和数据可靠性是一对矛盾的问题。

车联网对隐私的防护比移动互联网更严格。利用车辆相关信息很容易跟踪到车的行踪、位置和用户 ID 等。保护用户隐私是车联网安全首先要解决的问题，而一旦形成隐私保护，在匿名和相关方法保护隐私的同时，也会带来另外一个问题，就是数据的可靠性。用户一旦保护隐私或匿名，在对用户真实身份不了解的情况下，用户可能会发布虚假信息。而虚假信息会给整个车联网带来巨大的安全隐患。

目前对车联网数据的安全保护已有各种模型和方法，本文将区块链和云计算进行融合，构建了一种面向车联网数据的安全防护模型。

模型的基本思想是把车联网中与安全密切相关的功能和数据放在区块链上，将相对重要性不是很高的数据放在云上，利用云计算大量的存储资源对数据进行防护。同时，把一些复杂的计算通过云来完成。这样可通过区块链和云计算两大核心技术，再通过融合机制对车联网的数据进行安全防护。

使用云计算技术，利用云计算的存储和高效计算能力来解决车联网的大量计算需求。

区块链按照时间顺序将数据区块以链状组合成特定的数据结构，并以密码学技术确保很难篡改和很难伪造的去中心化共享总账，能够安全存储简单的、有先后关系的、能在系统内验证的数据。广义的区块链是利用加密链式区块结构来验证与存储数据，利用分布式节点共识算法来生成和更新数据、利用自动化脚本代码来编程和操作数据的一种全新的去中心化基础架构与分布式计算范式。区块链的实质是在信息不对称的情况下，无须相互担保信任或第三方（所谓的“中心”）担保，而是通过数字加密技术/分布式共识算法、时间戳等技术手段，实现在无须信任单个节点的情况下构建一个去中心化的可信任系统。

使用区块链技术主要考虑以下 3 个方面原因：区块链的底层 P2P 网络加密和 Hash 技术可以解决数据的不可篡改和数据删除问题；区块链可以满足“电子货币”的在线交易；区块链可以将生活中的合约问题变成代码，形成智能合约，能够实现交易中的合约自动执行。基于这 3 个特点，在车联网的应用情形里，可以将一些云计算解决不了的问题，通过区块链来解决。

第一，针对车联网中的不可篡改类信息（如交通事故的现场信息、交通违章信息等），运用区块链技术将此类信息进行存储，并实现证据固化，用以保障此类信息的不可篡改。

第二，针对匿名信息，车主在进行联网注册时，为保护用户隐私，需要进行匿名，但在匿名情况下，要进行一些信息追索和溯源的时候就必须要找到其真实身份。此时利用区块链的溯源机制，将匿名用户的匿名身份变为真实身份。

第三，针对货币交易和智能合约功能，车联网发展之后，像保险合同、汽车商店这些交易会通过车联网的智能合约和“电子货币”机制来实现，从而实现交易的便捷性。

同时为应对区块链存储资源消耗高、传输时延等问题，可以通过云计算机制来进行存储和算力资源协同。

基于上述思路，提出融合云计算和区块链的车联网三层体系结构。上层为物理层，即车联网连接的车辆、道路以及服务提供商等。然后在云计算和区块链两类技术平台的支撑下，完成车联网的传统和新兴业务。

5 结束语

通过融合机制基本上解决了车联网的两个较大的问题。在区块链和云计算的融合下，能够实现数据的分级控制问题，通过应用级别和应用场景，可以利用区块链和云计算不同的访问控制机制，实现不同级别

人民邮电出版社出版

的访问控制。利用云计算和区块链的融合，将数据进行分类存储。把一些类似交通事故这样很难篡改、需要固化的数据，存放在区块链上；把一些大量的、原始的和归档数据，放在云计算里，而且可以把云计算里面原始的数据逐渐抽象为某些 meda data（元数据），把 meta data 等重要的源数据也放在区块链上面，这样在整个融合体系下，就可以对整个车联网实现数据的分类管理。

参考文献：

[1] 陈烨, 许冬瑾, 肖亮. 基于区块链的网络安全技术综述[J]. 电信科学, 2018, 34(3): 10-16.

[2] 刘永丹. 基于区块链的网络空间安全技术[J]. 电子技术与软件工程, 2017(20): 215-217.

[3] 王继业, 高灵超, 董爱强, 等. 基于区块链的数据安全共享网络体系研究[J]. 计算机研究与发展, 2017, 54(4): 742-749.

[4] 黄永刚. 基于区块链技术的电子健康档案安全建设[J]. 中华医学图书情报杂志, 2016, 25(10): 38-40, 46.

[5] 张苑. 区块链技术对我国金融业发展的影响研究[J]. 国际金融, 2016(5): 41-45.

[6] 王硕. 区块链技术在金融领域的研究现状及创新趋势分析[J]. 上海金融, 2016(2): 26-29.

[7] 刘勇, 李飞, 高路路, 等. 基于区块链技术的车联网汽车身份认证可行性研究[J]. 汽车技术, 2018(6): 17-22.

人民邮电出版社出版

基于人工智能的大雾识别模型构建与应用

陶鹏[1]，苗开超[2,3]，周建平[2]，刘承晓[2]，姚叶青[2]，周林义[3]
（1. 安徽继远软件有限公司，安徽 合肥 230088;
2. 安徽省公共气象服务中心，安徽 合肥 230031;
3. 江苏省气象科学研究所，江苏 南京 210009）

摘　要：利用高速公路摄像头，采集道路视频图像进行大雾能见度等级分析，提出一种基于图像识别和深度学习技术的大雾能见度等级识别方法。通过对高速公路摄像头视频图像的实时采集，融合图像识别、机器学习、深度学习等多项人工智能技术，建立大雾识别模型，智能识别出高速大雾能见度等级。通过采集 15 万张高速公路视频图像进行模型验证实验，大雾能见度等级总体识别率在 78%以上。随着采集样本数量的增加，识别率将越来越高，完全能够满足道路摄像头大雾等级智能检测要求，为高速道路封停和安全出行提供有效支撑。

关键词：视频图像；深度学习；卷积神经网络

1　引言

大雾天气是影响高速公路安全的重要灾害性天气，近年来在高速公路沿线通过布设能见度自动站来监测大雾，这一做法在保障交通安全方面发挥了重要作用。然而能见度自动站一般间距较远，在 10 km 以上，对小范围的局地大雾和团雾无法提供监测预警服务，这些小范围的团雾往往容易导致驾驶员疏忽或躲避不及，造成严重的交通事故[1-2]。

随着监控水平和信息化的发展，交通管理部门在高速公路沿线（如高速公路的收费站、服务区、主干线）布设了密度更高的视频监控设备。交管部门在对大雾能见度等级进行判定时，主要还是通过人工巡查的方式查看道路天气状况，该方式费时费力且频次低，难以及时发现恶劣的天气情况[3-4]。

近几年，深度学习技术在图像识别领域取得了突破性进展[5]，在高速公路大雾等级识别中，利用深度学习技术对海量的高速公路视频图像进行特征训练，建立能见度等级估测模型，将极大地弥补能见度站点布设成本高、距离稀疏的问题，对进一步提高团雾的监测能力、为气象和交通管理部门监测大雾提供了低成本、高效率的辅助手段。

目前，国内外机构或学者针对视频图像的大雾能见度的检测形成了一定的研究成果。Kwon[6]提出了一种利用视频摄像头测量大气能见度的检测方法，通过提取不同能见度的图像边缘，采用神经网络算法进行分类并转化成相应的能见度等级，但需人为预置多个视频检测目标，成本较高，操作烦琐，并容易受到地形等环境因素制约。Narasimhan 等人[7-8]通过求解点光源的传输公式，在已知散射粒子的条件下，计算能见度，但检测范围有限制。Gallen 等人[9-10]采用直接求取光源亮度的方法计算大气消光系数，进而得到能见度，该方法侧重理论，未考虑实际应用性。戴庞达等人[11]分析多次散射条件下光源图像亮度与大气消光系数关系，提出了消除光源波动的双光源能见度计算方法，建立目标亮度特征与能见度反演的关系模型计算能见度。夏创文等人[12-14]提出了一种基于视频的高速公路雾级别检测方法，利用梯度计算和距离变换来区分并分割天空与真实雾区，以雾区 HSV（hue, saturation, value）颜色空间的统计直方图为颜色特征向量，对一系列视频帧特征提取融合后，利用 SVM（support vector machine，支持向量机）分类器分类雾等级，这种检测方法的准确率较低。

本文将深度学习技术应用于大雾能见度识别，通过采集高速公路视频摄像头图像数据，并使用对应站点的能见度仪的监测数据对图像进行标定，同时对采

基金项目：江苏省气象局北极阁开放研究基金资助项目（No.BJG201707）

集的视频样本进行数据预处理以形成不同场景、时间段的能见度图像样本数据集，基于该数据集通过深度学习构建大雾识别模型，实验验证该方法能够有效地检测和分析大雾能见度等级。

2 数据与方法

2.1 数据来源

目前安徽省高速公路有数百个摄像头，主要分布在高速入口、高速岔道口，服务区、重要路段等处，为了便于标注样本的准确性，主要选取了 42 个不同位置，并且附近 50 m 以内有能见度仪的摄像头视频，以保证摄像头采集的大雾图像和能见度仪测得的数据保持一致。摄像头视频流数据从安徽省路警联合指挥中心接入，每 10 min 保存一帧图像，并进行能见度数值、时间、地点等信息的标注，将经过标注的图片作为训练样本和测试样本。

2.2 数据处理方法

2.2.1 图像格式归一化

图像归一化是通过一系列变换，将待处理的原始图像转换成相应的唯一标准形式。本文中利用 PIL（python imaging library，图像处理标准库）对采集的大雾图像格式进行归一化，将之前 BMP 和 JPG 格式的图像统一转化为 JPG 格式，在实验仿真中将特征块图像归一化为 320dpi×320dpi 像素的图像。

2.2.2 图像色域空间变换

提取归一化后的彩色图像中的色度信息，结合 HSV 色彩空间 3 个分量的无关性，基于 HSV 空间彩色图像处理算法，将图像的颜色值从 RGB（red, green, blue）空间转换到 HSV 空间，合理结合边缘提取、区域生长和区域合并的方法，实现彩色图像的处理。HSV 直方图最大的特点就是色系比较明显，对整个图像渲染功能很强，可以辅助系统去除周边环境干扰。充分利用 HSV 模型和 RGB 模型间的转换，可实现图像处理功能。道路视频图像 RGB 色域分析如图 1 所示，道路视频图像 HSV 颜色空间变换如图 2 所示。

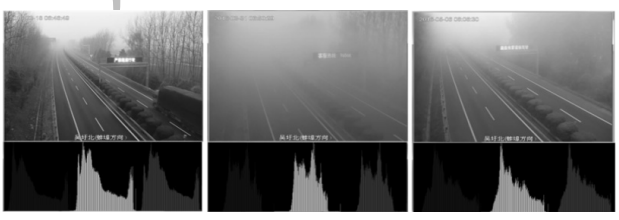


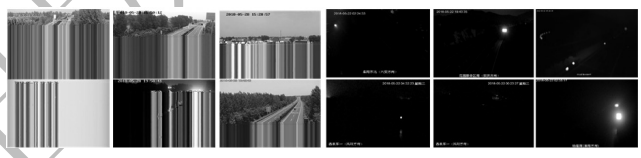
图 1 道路视频图像 RGB 色域分析



图 2 道路视频图像 HSV 颜色空间变换

2.2.3 样本精细化筛选

图像质量是对一幅图像视觉感受的主观评价和数据化的客观评价。本文对图片质量的判断结合主观评价和客观评价。其中，主观评价指被测图像相对于标准图像在人眼视觉系统中产生误差的程度。客观评价细分为 9 个评测维度：曝光、清晰度、颜色、质感、噪音、防手抖、闪光灯、对焦和伪像。由于道路摄像头所处环境多样化，加上夜间光照不足，视频图像容易出现失真、模糊、黑屏和曝光不足等问题，本文提出了弱质量图像的概念，并通过多层次分析模型进行筛选过滤。失真图像与弱质量图像示例如图 3 所示。样本精细化筛选流程如图 4 所示。



（a）失真图像　　（b）弱质量图像

图 3 失真图像与弱质量图像示例

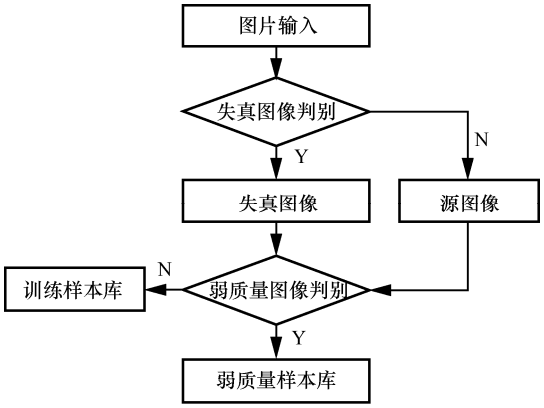


图 4 样本精细化筛选流程

2.3 大雾识别模型构建

大雾识别模型的构建分为 3 个步骤，分别为大雾能见度等级分类及向量化处理、模型构建、模型训练。其中，大雾能见度等级分类及向量化处理为模型数据的预处理过程，将大雾图片数据源做简单二分类后，将图片转换为可反映图片信息的全局向量。模型构建采用 VGG16 神经网络来构建大雾识别模型。模型训

东北电力技术出版

练中使用随机梯度下降（stochastic gradient descent，SGD）算法来进行训练。

2.3.1 大雾能见度等级分类及向量化处理

由于白天和夜晚图像差别较大，为了提升识别性能，本项研究根据图片的真实情况构建了白天和夜晚两个数据集。白天大雾能见度等级分为 4 个级别（0~200 m、200~500 m、500~1 000 m 和 1 000 m 以上）分别对应 1~4 级，而夜晚大雾能见度等级则分为 3 个级别（500 m 以下、500~1 000 m 和 1 000 m 以上）[15-16]，分别对应 1~3 级，并根据能见度仪的数值和时间，将采集相关的图像数据归类成白天大雾能见度等级样本和夜晚大雾能见度等级样本，形成样本均衡的数据集，并使用随机抽取的方式，将样本分成训练集和测试集，以用于模型的训练和评估。

将采集并筛选后的大雾图像通过傅里叶变换，转化为全局描述向量。此方法被认为是比较有效的图像变换技术之一，它可捕获图像的功率谱。由于傅里叶变换向量描述符的高维性，通过主成分分析（principal component analysis，PCA）进行降维处理。此外，还结合使用香农熵作为第二描述符，通过分析其灰度等级分布来表征图像纹理。全局描述向量将反映完整图像的信息。

2.3.2 模型构建

本文采用改进的 VGG16 神经网络作为大雾识别模型，如图 6 所示，共使用 15 层神经网络层，其中有 13 个卷积层和 2 个全链接层，模型最后将 soft-max 层置换为 SVM 作为分类器，进一步提高了大雾等级分类准确率。

搭建基于 TensorFlow 的深度学习环境，从训练样本库中均衡的抽取各能见度等级下的大雾图像样本，送入卷积神经网络（convolutional neural network，CNN），使用 ReLU（rectified linear unit，线性整流函数）作为激活函数，池化层使用的是向下采样（MaxPooling）。模型整体构建过程如下：

大雾样本输入→卷积(Conv2d)→卷积(Conv2d)→池化(MaxPooling)→

卷积(Conv2d)→卷积(Conv2d)→卷积(Conv2d)→池化(MaxPooling)→

卷积(Conv2d)→卷积(Conv2d)→卷积(Conv2d)→池化(MaxPooling)→

卷积(Conv2d)→卷积(Conv2d)→卷积(Conv2d)→池化(MaxPooling)→

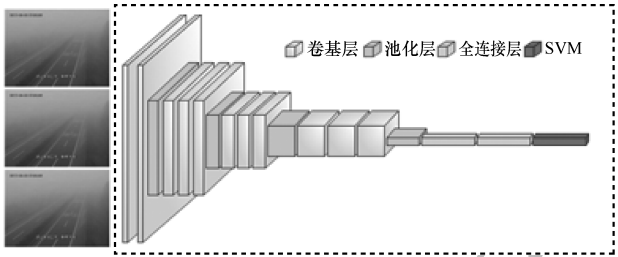


图 1 大雾能见度识别深度学习模型

全连接层(Dense)→全连接层(Dense)→SVM→能见度等级输出。

2.3.3 训练模型

训练过程中，使用 SGD 算法，该算法首先需要确定损失函数：

$$J(\theta)=\frac{1}{2m}\sum_{i=1}^{m}[h_\theta(x^i)-y^i]^2 \quad (1)$$

其中，$J(\theta)$是损失函数，m 代表每次进行训练取的样本数，如果采用 SGD 进行训练，那每次随机取一组样本，m=1；如果是批处理，则 m 等于每次抽取作为训练样本的数量。θ是参数，对应式（2）的 θ_1和 θ_2。求出了 θ_1和 θ_2，$h(\theta)$的表达式就出来了：

$$h(\theta)=\sum\theta_j x_i=\theta_1+\theta_2 \quad (2)$$

目标是让损失函数 $J(\theta)$的值最小，根据梯度下降法，首先要用 $J(\theta)$对 θ 求偏导：

$$\frac{\sigma J(\theta)}{\sigma\theta_j}=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}h\theta(x_i)-y_i]x_j^i \quad (3)$$

因为要最小化损失函数，所以参数 θ 按其负梯度方向来更新：

$$\theta'=\theta_j-\alpha\frac{1}{m}\sum_{m}^{i=1}(y^i-h_\theta(x^i))x_j^i \quad (4)$$

每一次迭代只计算一个样本的 Loss，按照一定的学习率沿梯度的反方向更新参数，然后再逐渐遍历所有的样本，完成一轮的计算。计算量大大减少，计算速度也可以得到极大的提升。

3 应用效果检验

3.1 数据来源

自 2017 年 10 月 9 日到 2018 年 3 月 31 日，通过上述模型建立的识别系统对高速公路采集的 42 个摄像头进行图像采集与识别，累计采集近 58 万张图像，

人民邮电出版社出版

其中有效标注能见度数据约 40 万张，抽取了标注有能见度值的 155 251 张样本进行大雾识别结果分析。按照深度学习行业经验，将训练集、验证集和测试集按照 6:2:2 来抽取样本。

如图 6 所示，155 251 张样本中，931 501 张样本为模型训练集数据，31 050 张样本为模型验证集数据，31 050 张样本为模型测试集数据。



图 2　样本占比

3.2　检验方法

本文采用混淆矩阵（confusion matrix）[17]方法，通过 ROC（receiver operating characteristic，受试者工作特征）曲线的模型评价方法，对大雾识别模型的统计识别图像大雾等级进行统计分析，检验大雾智能模型的正确识别率和错误识别率。混淆矩阵又称为可能性表格或是错误矩阵。它是一种特定的矩阵用来呈现算法性能的可视化效果，通常是监督学习。

ROC 曲线的模型评价方法是将实例分成正类（positive）或负类（negative），反映敏感度和特异度连续变量的综合指标，用作图法展示两度之间的关系。

图 3 所示为一个 ROC 曲线，横轴表示负正类率（false positive rate，FPR）特异度，划分实例中所有负例占所有负例的比例（1　Specificity）。纵轴表示真正类率（true positive rate，TPR）灵敏度，用来表示 Sensitivity（正类覆盖率）。

图 3 中实线为 ROC 曲线，线上每个点对应一个阈值。FPR 越大，预测正类中实际负类越多。TPR 越大，预测正类中实际正类越多。理想模型的目标为：TPR=1，FPR=0，即图中(0,1)点，故 ROC 曲线越靠拢(0,1)点，越偏离 45 度对角线越好，Sensitivity、Specificity 越大效果越好。

本文通过以上两个评价维度来对大雾识别模型的效果进行评价和检验。通过评价结果，结合模型的参数调整，可以不断进行模型的优化以提高模型的识别准确率。同时，该评价方法还能提供人工查看数据视图页面，检查异常场景识别问题，通过可视化的手段，进一步提升调参的效率，以便于后续增加此类样本，迭代优化大雾识别模型。

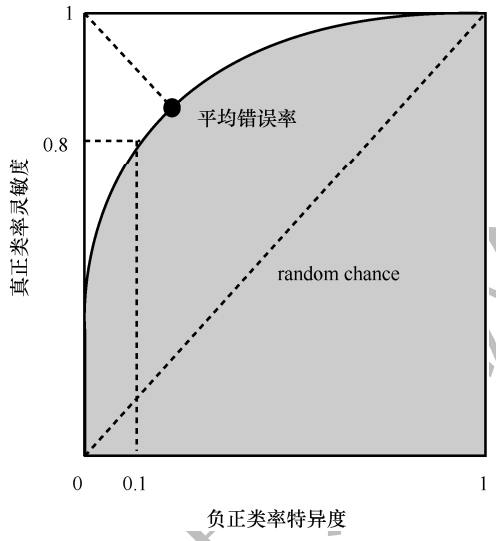


图 3　ROC 曲线

3.3　识别率规则及计算

（1）基本概念

真正（true positive，TP）：被模型预测为正的正样本，可以称作判断为真的正确率。

真负（true negative，TN）：被模型预测为负的负样本，可以称作判断为假的正确率。

假正（false positive，FP）被模型预测为正的负样本，可以称作误报率。

假负（false negative，FN）被模型预测为负的正样本，可以称作漏报率。

精确率、准确率：Accuracy= (TP+TN) / (TP+TN+FN+FP)

精准率、查准率：Precision=TP/(TP+FP)

召回率、查全率：Recall=TP/(TP+FN)

（2）识别率计算

表 1 的横向表示的是实际大雾等级样本情况，纵向表示大雾等级识别结果情况，例如大雾能见度为等级 1（大于 1 000 m）的样本共计有 146 228 个，其中正确识别数为 113 961 个，有 32 267 样本被误识别为等级 2（500~1 000 m）。模型分析出的能见度等级与能见度仪检测的能见度等级一致时，认为是准确识别。在表 1 中的对角线上的数值表示各等级大雾能见度识别准确的样本数。

通过计算大雾能见度等级识别的 TP、FN、FP、TN 的值（见表 2），根据公式可分别计算出模型识别的精准率 Precision 为 99.91%，召回率 Recall 为 77.93%，整体识别的准确率 Acc 为 78.02%。

表 1　大雾能见度等级识别结果分析

实际等级	识别等级				汇总
	1	2	3	4	
1	113 961	32 267	0	0	146 228
2	0	2 450	493	0	2 943
3	57	0	1 818	0	1 875
4	50	1 223	35	2 897	4 205
总计	114 068	35 940	2 346	2 897	155 251

表 2　能见度等级识别结果分析

识别分项	识别结果
TP	113961
FN	32267
FP	107
TN	8916
Precision=TP/(TP+FP)	99.91%
Recall=TP/(TP+FN)	77.93%
Acc=(TP+TN)/(TP+FN+FP+TN)	78.02%

3.3.1　各站点识别结果分析

针对采集的 42 个站点摄像头，使用大雾识别模型进行检测分析，平均识别率在 78.02%以上，其中有 14 个站点识别率在 90%以上，有 21 个站点识别率在 80%以上，如图 4 所示。

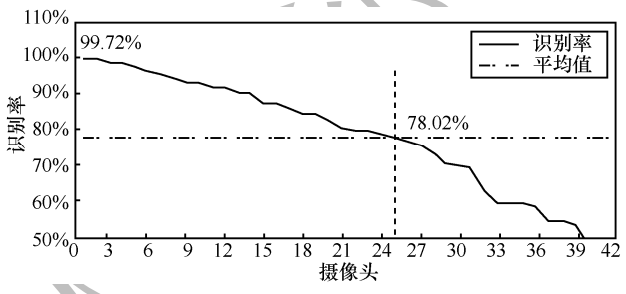


图 4　各站点大雾等级识别情况

3.3.2　各时段识别结果分析

如图 5 所示，从每天各时段的识别率来看，时间范围在 6 时~17 时，大雾识别准确率较高，都在平均识别率（78.02%）以上，其他时段由于受光照强度的影响，识别率较低。大雾识别系统对于白天环境下的识别率为 85.4%，对黑夜的识别由于受光强、道路车辆灯光等因素影响识别率为 69.7%。

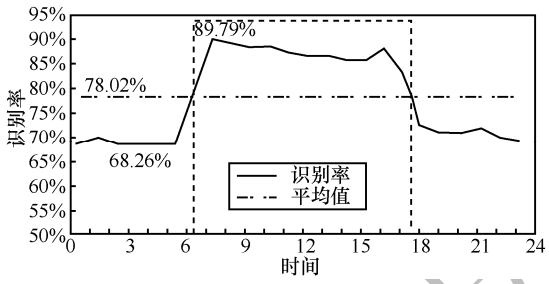


图 5　各时段大雾等级识别情况

4　结束语

本文是通过图像来监测识别大雾，而识别大雾的核心是大雾识别智能模型的构建，因此如何构建准确度高、适应面广和基于图像的大雾识别智能模型，满足用户对大雾识别业务需求，成为本文需要解决的首要问题关键点。从各能见度等级识别率看出，大雾识别模型在等级 3（200~500 m）的识别率较高，全天的平均识别率达到 97%。在各能见度等级下的白天黑夜大雾识别中，白天识别率平均在 85.4%以上，而晚上的平均识别率为 69.7%。该结果基本能满足道路摄像头辅助监测大雾等级需要。

后续工作中，将通过该技术建立大雾等级识别和监测服务系统，用于高速公路气象服务或高速公路管理、运营部门的实时能见度辅助监测业务中。随着视频图像采集的增加，一方面把清晰图高、标注准确图像继续纳入样本库中，迭代训练；另一方面，对于夜晚图片，采用深度学习技术去噪，以获取较为清晰的图片，构建更大的样本库，建立更高精度识别模型，进一步提高模型的识别效果。

参考文献：

[1] 包左军, 汤药药, 李长城, 等. 道路交通安全技术丛书：公路交通安全与气象影响(1 版)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.

[2] THEOFILATOS A, YANNIS G. The review of the effect of the traffic and weather characteristics on road safety[J]. Accident Analysis & Prevention, 2014, 72: 244-256.

[3] 关可, 寸淑敏, 梁佳. 基于数字图像处理技术的高速公路能见度检测[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2010, 30(5): 89-92.

[4] ABDEL- ATY M, EKRAM A, HUANG H, et al. A study on crashes related to visibility obstruction due to fog and smoke[J]. Accident Analysis & Prevention, 2011, 43(5): 1730-1737.

[5] 王晓刚. 图像识别中的深度学习[J]. 中国计算机学会通讯, 2015.

[6] KWON T M. Final report on signal and image processing for road condition classification[R]. 2002.

[7] NARASIMHAN S G, NAYAR S K. Vision and atmosphere [J]. International Journal of Computer Vision, 2001, 48(3): 233-254.

[8] NARASIMHAN S G, NAYAR S K. Shedding light on the weather [C]//The 2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June 18-20, 2003, Madison, Wisconsin. Piscataway: IEEE Press, 2003: 665-672.

[9] GALLEN R, HAUTIERE N, DUMONT E. Static estimation of meteorological visibility distance in night fog with imagery [J]. IEICE Transactions on Information and Systems, 2010, 93(7): 1780-1787.

[10] GALLEN R, CORD A, HAUTIERE N. Nighttime visibility analysis and estimation method in the presence of dense fog [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2015, 16(1): 310-320.

[11] 戴庞达, 张玉钧, 周毅, 等. 基于双光源图像特征的夜间能见度观测方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(1): 1-5.

[12] 夏创文. 高速公路网运行监测若干关键技术研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.

[13] LIU C X, LU X B, JI S P, et al. A fog level detection method based on image HSV color histogram[C]// Progress in Informatics and Computing (PIC), May 16-18, 2014, Shanghai, China. Piscataway: IEEE Press, 2014: 373-377.

[14] LIU Y, LU X B. Fog detection and classification using gray histograms[C]//2011 International Conference on Embedded System and Microprocessors, November 4, 2011, Kuala Lump, Malaysia. [S.l.:s.n.], 2010: 175-178.

[15] 刘洪启, 张巍汉. 高速公路雾区安全分级控制标准和分级控制策略研究[J]. 公路, 2007(10): 134-138.

[16] 中国气象局.高速公路能见度监测及浓雾的预警预报: QXT 76-2007 [S]. 北京: 气象出版社, 2007.

[17] 陈文兵, 杨建伟, 张小磊. 能见度自动化计算方法[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(30): 181-183.

人民邮电出版社出版

基于人脸识别技术的洞室门禁管理系统

马娜，靳莉，唐新忠，李琳
（北京国电通网络技术有限公司，北京 100070）

摘　要：人脸识别技术是生物技术、信息技术、网络技术、人工智能高度融合的背景下产生的前沿技术领域。人脸识别技术在洞室门禁管理系统中的应用，是通过人脸动态定位和人脸静态识别，替代磁卡识别、指纹识别等接触类身份认证形式，解决反复认证失败、一次认证多人通行、身份认证介质盗刷盗用等问题，可有效提高抽水蓄能电站中洞室门禁系统的快速通行能力、运营管理能力及安全防护能力。首先介绍了人脸识别技术，然后阐述了基于人脸识别技术的洞室门禁系统的设计，最后详细介绍了该系统的功能应用。

关键词：人脸识别技术；洞室门禁管理系统；抽水蓄能电站

1　引言

信息技术、网络技术的快速更新迭代，特别是近年来国际学术界在人工智能领域取得的新突破，推动着各学科的跨界融合。人脸识别技术就是基于生物科学、信息技术、网络技术及人工智能的一门新型学科，通过视频硬件系统动态定位捕捉人脸和软件分析系统静态分析人脸特征，并与人脸数据库进行比对产生结果，从而实现人脸识别技术在各个领域的具体应用。当前，人脸识别技术已经广泛应用于公安部门打击违法犯罪、防恐防爆、维护社会安全等领域，但在抽水蓄能电站领域处于初步探索阶段，目前电站中 95%以上的门禁系统仍然采用接触式磁卡、指纹识别等传统方式，往往存在反复认证失败难以顺利通过、一次认证多人跟随通行、身份认证介质被盗刷盗用、出现问题过程难以追溯等人员安全管理问题，且传统的门禁系统往往只能在出现问题后，通过人工比对排查才能发现问题所在，错过了预防报警和应急处理的最佳时机。抽水蓄能电站中的洞室作为核心防御区域，对安全防护管理方面要求相对较高，传统的门禁系统难以达到建设及使用要求。

本文旨在通过对基于人脸识别技术的洞室门禁管理系统的研究，建立起一套安全级别高、防护效果好、运行效率高、全程管控好的洞室门禁系统应用，有效提高洞室内有限空间的使用效率、快速通行能力、运营管理能力及安全防护能力。

2　人脸识别技术

人脸识别技术是通过计算机图像处理技术，对人脸中的诸多视觉特征进行分析处理，早在 1960 年前后国外就有该方面的研究，直到 1990 年后才出现了人脸识别方面的应用。当前，国内已经开发出了识别程度很高的人脸识别设备。人脸识别在实现路径方面，往往是通过视频监控系统捕捉动态活动的人脸图像，再通过对捕捉到的动态图像抽象出静态特征，与数据库中的静态人像进行数据比对，如匹配成功则视为识别成功，如匹配失败则视为识别失败的过程。目前，人脸识别技术只处于应用的初级阶段，受到生物技术及生物特征数据库建立健全等因素的制约，人脸识别技术尚不能达到广泛应用。同时，作为一门新兴的技术学科，人脸识别技术仍会受到一定条件的制约：一是人脸识别过程是在被识别人“自然”的状态下才能顺利进行，如果刻意遮挡、扭曲面部，人脸识别过程可能失败；二是被识别对象与数据照片的差异性，如数据库存储的是被识别对象 10 年前或整容前的照片，或因光线过暗、过亮反光，人脸识别过程可能失败；三是在单个时间段大量被识别对象同时进行比对，对系统反应速度要求大幅提升，可能造成数据延迟或识别失败。因此，基于上述三点，本文所研究的人脸识别在洞室门禁系统中的应用是在正常条件下进行的研究探讨，不涉及上述情况。

人民邮电出版社出版

3 基于人脸识别技术的洞室门禁系统设计

3.1 系统架构

抽水蓄能电站中洞室门禁管理系统由 4 部分组成：采集层、管理层、控制层和应用层，如图 1 所示。其中采集层位于洞室入口处，用于采集、识别入场施工人员的面部特征；管理层作为管理和大数据中心，用于存储人脸录入的数据；控制层位于洞室门禁所在位置，用于控制洞室门打开、闭合、报警等状态；应用层位于计算机控制终端，通过软件系统记录通行过程、门禁使用过程、数据存储过程。

3.2 数据采集模块

数据采集是人脸识别过程中的初始环节，通过图像采集系统对施工人员进行数据采集，采集后数据存储于系统管理层。通过计算机系统对采集到的数据进行人脸图像分析，获取人脸面部特征。一边情况下，每个人员需要采集两种以上姿态的面部数据，并通过灰度处理、人脸特征降维、几何矫正等手段，大幅降低计算机在数据运算过程中的处理难度，提高计算和运行速度。

3.3 模型训练模块

存储于管理层的数据进行长期、大量的基于基因算法的模型训练，改进和提升模糊人脸识别算法，提高系统的辨识度和容错率。软件系统在数据模型中模拟出诸如人脸中戴眼镜或不戴眼镜、留有胡须或没有胡须等情况下的模糊人脸模型，自动线上实现数据调试和纠偏。

3.4 人脸识别模块

通过门禁处布设的视频图像采集系统，对通行人员进行动态面部视频捕捉，软件平台系统处理捕捉到的动态图像，生成静态灰度图像，进行灰度处理、人脸特征降维和几何矫正，运用算法模型与数据库录入信息比对匹配，匹配成功则成功通过，如图 2 所示。

3.5 报警预警模块

在人脸识别过程中，如数据匹配失败则触发报警装置，门禁系统自动关闭，进入人工识别程序。应用层可根据实际情况远程控制门禁系统选择放行或通知安保人员进一步检查识别。当人员进入视频监控区域后，预警系统立即启动，辨识人员是否为数据库人员，起到很好的预警作用。

3.6 监视控制模块

监视控制模块是在人脸识别失败后，动态跟踪识别该人员行动路线、行为动作，实时回传该人员所在位置、运动方向。应用层可根据具体情况，手动关闭门禁系统，待应急人员赶到现场进行处理。与传统的视频监控系统相比，人脸识别系统无需回看录像，可快速反应制定应急方案，组织应急行动。

3.7 门禁控制模块

门禁控制模块是整个系统的执行机构，可有效地控制洞室的进出口的开合状态。通过人脸识别比对，正常的人员可自动放行通过，并记录进入洞室的人员

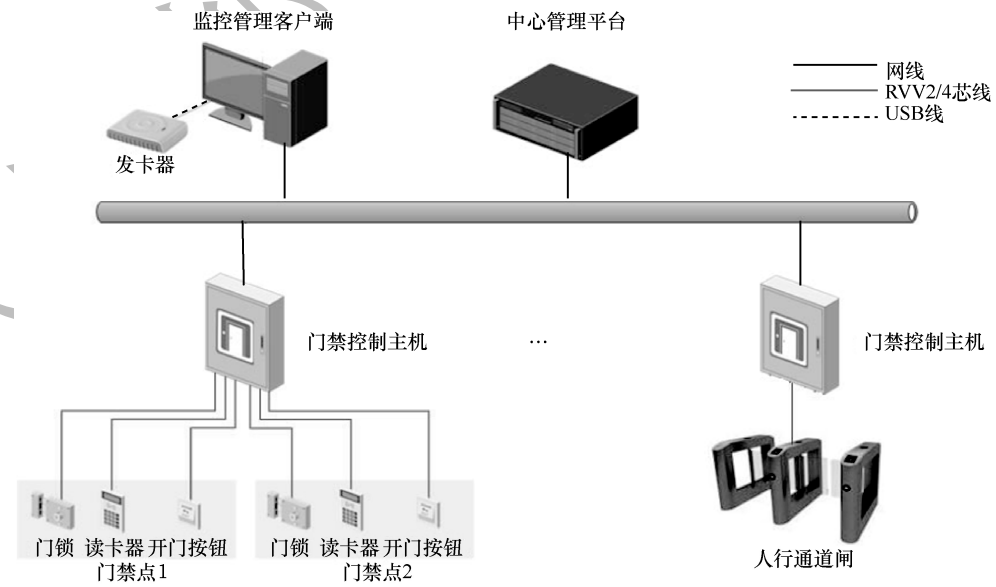


图 1　洞室门禁管理系统架构

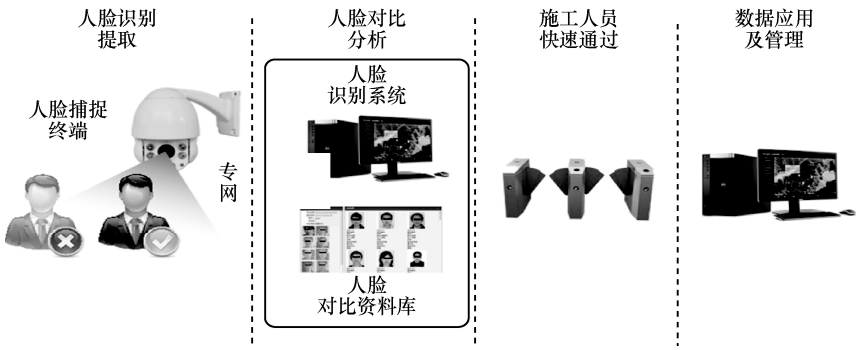


图 2　人脸识别模块流程示意图

数量，对人员异常信息进行监控和报警，向后台发送异常信息，并始终处于闭合状态。

4　功能应用

4.1　授权管理

根据人员的工作性质、工作区域、职责权限等，人脸识别洞室门禁系统可进行个性化授权管理，避免非法闯入、物品非法带出等情况发生，有利于保密管理、安全管理。

4.2　快速定位

对于通信不及时、通信网络未全覆盖的洞室，可根据人脸识别系统快速定位人员，锁定人员活动范围。

4.3　快速通行

系统可联动智能分析摄像机，将人员人脸信息提前录入数据库中，与数据库中的人脸图像符合的人员，可快速出入门禁。

4.4　分散控制

通过平台可实现对子系统的远程控制，并保持各子系统的相对独立性。协调各控制系统的运行状态，能够同时与实时获取不同控制系统的各种运行数据，同时实时地对不同系统进行状态控制以分离故障、分散风险、便于管理。

4.5　智慧安防地图

洞室门禁系统以图形的形式显示门禁的状态，比如当前门是开门还是关门状态，或是门长时间打开而产生的报警状态。此时管理人员可以透过直观图示来监视当前各门的状态，对长时间没有关闭而产生的报警门禁进行现场查看。同时拥有权限的管理人员，在电子地图上可对各门禁控制点进行直接的开关控制。

4.6　实时数据分析

系统可实时显示、记录所有事件数据，数据实时传送给管理平台，可在管理中心客户端立即显示人员、事件时间、门禁地点、事件类型。报警事件发生时，计算机屏幕上会弹出报警提示框。系统可存储所有的进出记录、状态记录，可按不同的查询条件查询，并生成相应的报表。

4.7　个性化语音服务

除了默认播报的语音外，管理者可根据需要自定义需播报的语音。例如，可对默认的基本信息进行自定义，如“欢迎光临”可自定义为“您已进入交通洞区域，请注意安全等”。系统可根据用户自身需要，修改交互语音，达到个性化效果。

5　结束语

人脸识别技术在洞室门禁管理系统中的应用有很好的运用空间和使用价值，特别是随着信息化和人工智能的发展，向纵深方向发展代表了洞室门禁系统的未来趋势。在看到优势的同时，也应该正视人脸识别洞室门禁系统存在的不足。一是抽水蓄能电站洞室地处偏远地区，如果存在供电不足或网络带宽受限的情况将大大影响该系统的正常运转，因此使用此系统的前提应解决供电及网络问题；二是洞室门禁系统对信息安全的依赖程度较大，如数据库被篡改则会威胁到整个系统的正常运行，所以信息安全是人脸识别洞室门禁系统发挥作用的关键所在；三是系统数据模型需要反复学习训练、进化，匹配结果理论上还存在一定的误差，随着生物技术和人工智能的演进，这一不足可以得到有效弥补。

总之，人脸识别技术在洞室门禁管理系统中的应用代表了未来智慧化管控的方向，是从业者必须要学习的方向，也是技术人员必须要攻克的课题。随着技术的进步，人脸识别技术将在抽水蓄能电站洞室门禁管理中广泛应用，在提升电站安防水平、管理水平等

水电水利出版社

方面发挥巨大作用。

参考文献：

[1] 赵宇. 浅谈门禁系统发展及技术趋势[J]. 中国公共安全(综合版), 2016(5): 67-70.

[2] 雷玉堂. 各类门禁系统的比较及其发展[J]. 中国公共安全市场版, 2007(3): 94-99.

[3] 曹林. 人脸识别与人体动作识别技术及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2015.

[4] 刘京京. 基于ARM的人脸识别在智能门禁中的应用研究[D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2015.

[5] 张静端. 基于人脸识别技术的图书馆门禁系统的研究[J]. 现代电子技术, 2016(18).

[6] 李军, 蒙仕格, 范权昌, 等. 基于人脸识别的门禁系统设计与实现[J]. 自动化与信息工程, 2013(6).

[7] 王映辉. 人脸识别: 原理、方法与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2010.

人民邮电出版社出版

基于数据分析的通信光缆故障研究及应用

梁书琴，张艳
（国网湖北省电力公司孝感供电公司信息通信分公司，湖北 孝感 432000）

摘　要：通信光缆是电力通信网的基础设施，其安全性直接影响整个电力通信网的稳定性和可靠程度。通过建立光缆故障数据库对光缆故障进行管理计算，分析光缆故障情况。光缆故障数据库以每条光缆的故障履历表为基础，一方面，缩短检查时间，确保故障处理时长符合规定，同时也给整个抢修工作留有更大的时间裕度；另一方面，通过分析光缆的状态，制定检修方案，从而合理安排大修技改项目，提高电力通信光缆的可靠性。

关键词：光缆故障数据库；光缆故障处理；电力通信光缆

1　引言

光缆故障数据分析系统解决了网管系统中光缆显示不明确的问题，对查找站点之间光缆连接信息起到很强的辅助作用，在发生光缆故障的时候，能快速、准确地定位到故障光缆，缩短故障光缆定位时间，并通过建立光缆故障数据库存储所有光缆信息，采用数据分析手段提醒运维人员重点关注该光缆段历史故障地点、故障原因，以减少发现光缆故障点的时间，提高工作效率。同时，针对光缆故障数据分析结果了解光缆的运行状况，可以对故障趋势进行分析，降低故障概率，提高系统安全稳定性；根据故障统计了解光缆的运行率，如果运行率低，则可以申报大修技改项目进行修改，从而完善通信网架构。

公司通信处理缺陷管理要求，紧急缺陷应在 4 h 内进行处理，原则上要求 24 h 内处理完毕；严重缺陷应在 24 h 内进行处理，原则上要求 3 天内处理完毕；一般缺陷应根据轻重缓急进行处理，原则上要求一个月内处理完毕。若有特殊情况不能处理的，应汇报上级通信调度和通信管理部门，并根据通信管理部门的意见在规定期限内处理完毕。同时，对通信缺陷管理标准规定的管理活动进行检查与考核，考核内容包括年度消缺率、24 h 重大缺陷消缺率和缺陷分析报告上报及时率，考核标准分别为一年内消缺率达到 100%、24 h 重大缺陷消缺率达到 100%和缺陷分析报告上报及时率。同时，通信运行统计和分析工作主要包括对通信电路、通信设备、光缆线路、业务保障等内容的统计和分析，公司对通信网运行统计的检查考核主要包括光缆线路运行统计指标、通信设备运行统计指标、通信电路运行统计指标、业务保障统计指标、通信故障处理时间指标 5 个方面。

2　主要做法

2.1　说明

光缆干线传输网具有中继距离长、覆盖面广的特点，对调控部门和维护部门来说，如何有效地管理和维护光缆干线传输网成为一个很重要的问题。众所周知，由于光传输系统速率越来越高，线路中断带来的直接、间接经济损失也越来越大。随着光缆网络规模的扩大，特别是干线传输网大规模的发展，光缆中断次数将不可避免地呈现逐年升高的趋势。

因此，为了缩短故障光缆抢修时间并完善通信网结构，结合本课题对原先的管理方法进行了改进，在工作过程中加入数据统计、数据处理、数据分析等过程，为光缆故障判断与项目上报提供决策依据。

2.2　主要流程

光缆故障数据分析系统主要由数据获取、可视化显示及数据统计 3 部分组成。数据获取是通过该系统将光缆故障信息录入后台数据库中，按照数据表要求录入不同的信息。可视化显示部分是通过使用该系统查找相应的光缆路径，并同时查询数据库历史信息，通过统计历史故障信息，将查询的结果显示出来，供相关工作人员进行光缆故障分析与判断。数据统计主要用于对所有数据采用相关统计分析方法，提取出网架优化的相关依据信息，供管理人员对通信路由进行优化和提升。其中，在工作流程中关键的节点是进行

人民邮电出版社出版

数据统计和数据分析。

2.2.1 数据统计

如同医院给病人建立的病历档案一样，笔者团队也给每条线路建立了一个故障病历，以便在处理线路故障的时候能够有一个初步的判断依据和完善的处理流程，大幅度缩短了故障判断和处理时间，有效提升了通信网络的安全性。首先将所有光传输实际连接图的内容存入 Excel 表中。通过该方式，可以将实际的光缆连接信息储存到 Excel 中，便于后续操作，达到了预期设定的目标。故障数据统计主要包括 3 种类型的数据表，经过现场的积累逐渐形成详细的故障数据库。

2.2.2 光缆故障数据分析系统的功能描述

采用 VS2012，基于 C#.Net 环境开发了光缆故障数据分析系统，利用该系统可完成光缆的可视化、查找功能。运行该程序，点击站点 1 的下拉框，会显示该区域的所有站点名称，选中需要查找的第一个站点作为站点 1 的输入，如图 1 所示。

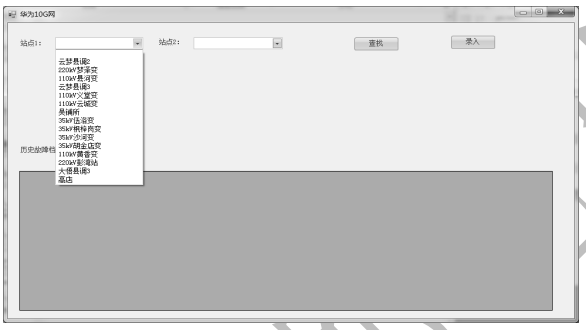


图 1 选站点 1

当选中站点 1 之后，在站点 2 的下拉框中会自动出现跟所选站点相连的站点，选中需要查询的第二个站点作为站点 2 的输入，如图 2 所示。

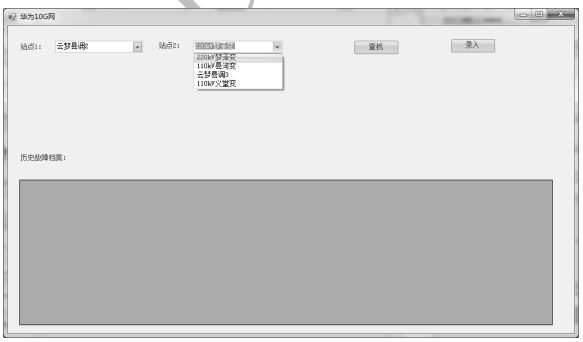


图 2 选站点 2

这种方法解决了网管系统中光缆显示不明确的问题，对相关人员查找站点之间光缆连接信息起到很强的辅助作用，在发生光缆故障的时候，能快速、准确地定位到故障光缆，缩短故障光缆定位时间。

同时，从故障统计表中，可以查到这两个站点之间的历史故障统计记录，可以使值班人员对该光缆段的网络结构和运行情况有一个清楚的认识。值班人员可以把站点之间故障发生较多的站点告知光缆运维人员，提醒运维人员重点关注该光缆段历史故障地点、故障原因，减少发现光缆故障点的时间，提高工作效率。

点击“查找”按钮，就会显示所选两个站点之间的连接情况，直观地看到该条线路历年发生的故障的时间、现象、业务影响范围及处理方法等关键信息，如图 3、图 4 所示。



图 3 历史故障



图 4 最近一次故障

故障处理完毕之后，将通信故障信息录入系统，当在系统内点开某条光缆线路或节点时，就能直观地看到该条线路历年发生的故障的时间、现象、业务影响范围及处理方法等关键信息，如图 5 所示。

判断孝感地区光网络系统中光缆线路和重要业务通道的健康度，利用大数据手段为通信运维及项目申报工作提供参考依据。

对于健康指数偏低的线路，采取光缆线路抬高、重新规划路由及申报项目整改等方式，有效避



图 5　通信故障信息录入系统

免光缆线路外破事件发生，提升线路健康指数；对于健康指数偏低的业务通道，根据分析结果，重新规划通道路由，让重要业务避开“不健康”的线路，尽量减小光缆线路中断对重要业务的影响，提升业务通道健康指数。

3　评估与改进

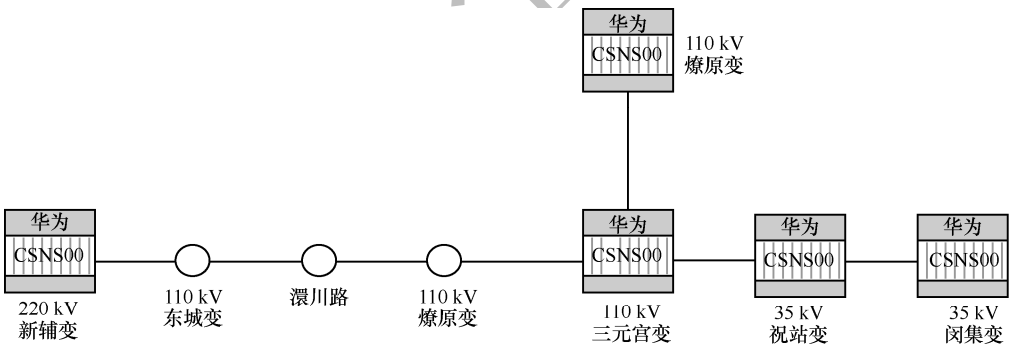
该系统使用光缆故障数据库辅助故障定位与处理，同时给管理人员提供通信网络优化的决策依据，提供可靠的光缆路由，从根本上降低光缆故障的发生率。但是该系统由于各种局限性存在以下问题。

- 光缆故障数据库采用传统的 Excel 方式，无法满足数据更多更复杂的情况，后期争取使用专业的数据库软件，形成多元化的数据库，保证数据的准确性和可用性。
- 根据实际工作需要和相关文献研究，可以通过引入 GIS 技术和 OTDR（光时域反射仪）技术，将地图引入故障光缆定位中，并实现空间数据与属性数据的统一存储、管理，使告警信息可以与实际地理位置相对应，然后采用 OTDR（optical time domain reflectometer，光时域反射仪）分析出光缆的具体故障点，提高定位的准确性，缩短光缆的故障时间，为电网运行提供可靠保障。

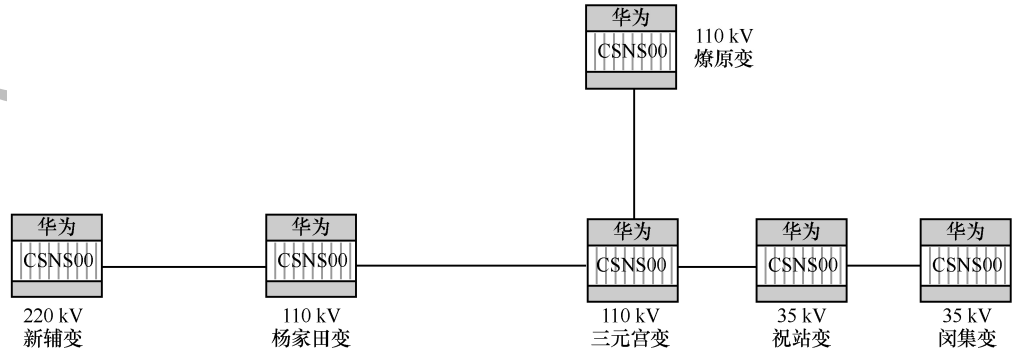
4　推广应用可行性

随着通信行业的迅猛发展，光纤网络的规模日益庞大、复杂，网络业务类型日趋多样化，加之光纤老化等问题，导致网络故障事件与日俱增。

由此提出的工作方法在具体的工作实践中已得到了应用，工作成效也在各项指标中得到体现，证明其



(a) 优化前



(b) 优化后

图 6　优化前后对比

具有明显的有效性，达到了预期效果。由此制定了相应的巩固措施，包括《通信光缆详细记录表》《通信光缆信息查找工具使用说明书》和《通信光缆故障统计分析》。

基于数据分析的通信光缆故障研究及应用，是在目前大数据、数据挖掘的背景下将“互联网+”的思维引入通信网的发展中，解决了光缆故障定位困难及故障突发性强、无规律等问题，有效地降低了光缆的故障率，提高了光缆维护的工作效率，保证了电力通信网的安全稳定运行，对整个通信网络的规划设计、体系结构和运维都会带来深远的影响，因此，此工作具有普遍性、可行性和有效性，具有一定的借鉴和参考价值。

5 应用情况

110 kV 三元宫变原通信路由为经三元宫燎原、澴川燎原、澴川东城普缆、110 kV 铺东线 OPGW（optical fiber composite overhead ground wire，光纤复合架空地线）跳纤以 622 Mbit/s 的速率接入地孝感 10 Gbit/s 华为网 220 kV 新铺变，由于该路径经常发生故障，利用基建项目 110 kV 杨家田变新建 110 kV 宫杨线，将 110 kV 三元宫变通信接入方式优化为经 110 kV 宫杨线 OPGW 以 622 Mbit/s 的速率接入地孝感 10 Gbit/s 华为网 110 kV 杨家田变，消除三元宫变仅由一条普缆接入的通信方式，有效提升 110 kV 三元宫变、35 kV 祝站变、闵集变通信可靠性，如图 6 所示。

参考文献：

[1] 杨万清, 李振威, 丁艳萍. 基于光缆故障数据库的状态检修[C]//电力行业信息化优秀论文集. 北京: 中国电力出版社, 2014.

[2] 王华伟, 蒋荟, 余振国, 等. 铁路通信设备技术状态大数据平台的研究[J]. 通信信号技术, 2017, 26(4):

人民邮电出版社出版

基于数据挖掘的分布式光伏电站投建人细分模型研究

杨珂 [1,2]

（1. 国网电子商务有限公司（国网雄安金融科技集团有限公司），北京 100053;
2. 国家电网有限公司电力金融与电子商务实验室，北京 100053）

摘　要：简单以分布式光伏电站投建人的投资规模对投建人进行细分而未能充分考虑其潜在价值的方式，会低估投建人对电商平台的贡献。因此从投建人的当前价值和潜在价值两个维度构建了分布式光伏电站投建人价值评估体系。利用投建人的客观数据，借助聚类算法，建立了基于投建人当前价值和潜在价值的二维投建人细分模型。针对每种类型的投建人价值特征提出具体的营销策略，为电商平台的营销决策提供了科学依据。

关键词：客户细分；客户价值；分布式光伏电站；聚类；客户关系管理

1　引言

近年来我国光伏发电行业的发展在国家政策支持下突飞猛进，其中分布式光伏发电的发展更是狂飙突进，然而，资金来源成为制约分布式光伏发电发展的重要因素。基于电商平台的光伏金融产品应运而生，该产品既解决了光伏电站投建人面临的前期投资大、回收期长的问题，也实现了社会剩余资本和太阳能资源的良好配置，为光伏行业的发展提供了强大的动力。对于电商平台而言，甄别出最有价值的分布式光伏电站投建人对增加平台收益具有显著促进作用。

客户细分是指按照一定的标准将现有客户划分为不同的客户群，它使得企业能够针对不同的客户群体采取差异化的营销策略，从而有效地降低成本，同时获得更强、更有利可图的市场渗透。目前，从客户价值角度进行细分，已经被众多学者和研究人员广泛认可。赵保国[1]针对通信行业提出了基于客户忠诚度和客户价值两个维度建立客户细分模型。孟庆良等[2]提出了基于客户当前显性贡献、潜在显性贡献和潜在隐性贡献的三维客户细分模型及度量方法。胥学峰等[3]提出了基于 PCA 与 SOM 神经网络算法针对房地产客户价值进行聚类分析，分析不同目标客户群的购买模式和价值特征。褚格林[4]提出了针对移动客户在无线互联网流量使用过程中为企业贡献的当前价值和潜在价值，应用“k-均值划分”算法细分客户群。吴玲[5]提出了针对电力客户群基于客户当前价值和潜在价值，通过构建客户价值评估指标体系，建立了二维客户价值细分模型。

他们都针对的是 B2C 非契约环境，且所提模型只适用于需要经常重复购买的易耗品。然而，分布式光伏电站一经建成，通常可以运营十年以上，文献中的客户价值评估指标体系将不再适用。本文首先构建分布式光伏电站投建人的价值评估指标体系，然后通过聚类方法对真实投建人数据建立细分模型，最后对各个细分类别提出差异化的营销策略。

2　客户价值指标体系的构建

基于投建人的客观数据，本文选择构建客户价值评价指标体系间接地度量客户价值。客户价值包括当前价值和潜在价值两个重要方面，其中客户的当前价值体现在分布式光伏电站的资产规模，而客户的潜在价值体现在投建人的自身价值。

由于分布式光伏电站的资产规模直接决定了电站的盈利水平，可以用分布式光伏电站资产规模来刻画投建人的当前价值，本文从资源状况和电站系统两个方面来刻画电站资产规模。选取了可用面积属性和建成面积来分析投建人资源状况，选取投建成本和集成商属性来评价电站系统。而投建人的潜在价值可以由社会资本和偿还意愿两个方面来刻画，其中社会资本通过投建人父母社会层级来评价，而偿还意愿则通过投建人最高学位来刻画。

以上分析将投建人的价值指标考虑为 6 个，客户价值度量的指标体系见表 1。

人民邮电出版社出版

表 1　客户价值度量的指标体系

客户价值度量	当前价值	资源状况	可用面积属性
			建成面积
		电站系统	集成商属性
			投建成本
	潜在价值	社会资本	父母社会层级
		偿还意愿	最高学位

3　基于聚类模型的客户细分研究

3.1　研究方法

模糊 C 均值（fuzzy c-means，FCM）算法是一种基于划分的聚类算法，它的思想是使得被划分到同一簇的对象之间相似度最大，而不同簇之间的相似度最小。FCM 是“k-均值”算法的改进，与 k-均值算法的区别主要在于“k-均值划分”算法对于数据的划分是硬性的，而 FCM 则是一种柔性的模糊划分，用取值范围在[0,1]的隶属度来确定每个给定数据点属于各个类的程度。FCM 将 n 个样本 $\boldsymbol{x}_i(i=1,2,\cdots,n)$ 分为 c 个聚类 $F_1,F_2,\cdots,F_c$，并求每组的聚类中心 $\boldsymbol{c}_i$，使得非相似性指标的目标函数达到最小。用 u_{ij} 表示样本 $\boldsymbol{x}_i$ 属于聚类 $\boldsymbol{F}_j(j=1,2,\cdots,c)$ 的程度，即 $0\leqslant u_{ij}\leqslant 1$。$u_{ij}=1$ 表示 $\boldsymbol{x}_i$ 完全隶属于集合 F_j，等价于传统集合概念上的 $\boldsymbol{x}_i\in F_j$。$\boldsymbol{u}_i=(u_{i1},u_{i2},\cdots,u_{ic})'$ 为 $\boldsymbol{x}_i$ 的隶属度向量，经过归一化操作，一个样本的隶属度的和满足：$\sum_{j=1}^{c}u_{ij}=1,j=1,2,\cdots,n$。$\boldsymbol{U}=(\boldsymbol{u}_1,\boldsymbol{u}_2,\cdots,\boldsymbol{u}_n)$ 是所有样本的隶属度矩阵。FCM 的目标函数定义为

$$E=\sum_{j=1}^{c}\sum_{i=1}^{n}u_{ij}^{m}\operatorname{dist}(\boldsymbol{x}_i,\boldsymbol{c}_j)^2 \tag{1}$$

其中，m 是模糊加权系数，它的值大于 1。通过拉格朗日乘子法可以求得使式（1）达到最小的聚类中心和隶属度。上述最优化问题的拉格朗日函数如下：$\bar{E}=\sum_{j=1}^{c}\sum_{i=1}^{n}u_{ij}^{m}\operatorname{dist}(\boldsymbol{x}_i,\boldsymbol{c}_j)^2+\sum_{i=1}^{n}\lambda_i\left(\sum_{j=1}^{c}u_{ij}-1\right)$，通过对参数求偏导，可求得：

$$\boldsymbol{c}_i=\frac{\sum_{i=1}^{n}u_{ij}^{m}\boldsymbol{x}_i}{\sum_{i=1}^{n}u_{ij}^{m}} \tag{2}$$

$$u_{ij}=\frac{1}{\sum_{j=1}^{c}\left(\frac{\operatorname{dist}(\boldsymbol{x}_i,\boldsymbol{c}_i)}{\operatorname{dist}(\boldsymbol{x}_i,\boldsymbol{c}_j)}\right)^{2/(m-1)}} \tag{3}$$

本文的 FCM 算法的基本步骤如下：

输入：样本集 $D=\{\boldsymbol{x}_1,\boldsymbol{x}_2,\cdots,\boldsymbol{x}_n\}$；聚类簇数 c；模糊加权系数 m。

输出：c 个聚类中心点向量和一个模糊划分矩阵 $\boldsymbol{U}$。

（1）用[0,1]之间的随机数初始化隶属矩阵 $\boldsymbol{U}$，并且使其满足归一化条件。

（2）用式（2）计算 c 个聚类中心 $c_i,i=1,2,\cdots,\boldsymbol{c}$。

（3）根据式（1）计算目标函数。如果它小于某个确定的阈值，或它相对上次价值函数值的改变量小于某个阈值，则算法停止。

（4）通过（3）计算新的 $\boldsymbol{U}$ 矩阵，返回（2）。

算法输出 c 个聚类中心点向量和一个模糊划分矩阵，这个矩阵表示每个样本点属于每个聚类的隶属度。根据这个划分矩阵按照模糊集合的最大隶属原则确定每个样本点归为哪个类，即 $\boldsymbol{x}_i(i=1,2,\cdots,n)$ 的类标号用式（4）确定：

$$k\in\arg\max_{j=1,2,\cdots,c}\{u_{ij}\} \tag{4}$$

如果有多个分量取到最大值，则随机选取一个取到最大值的类即可。

3.2　顾客细分模型构建

本文实验数据取自 809 个分布式光伏电站投建人的真实数据，并进行归一化处理。归一化方法采用最小最大值进行归一化，即 $x'_{i,j}=\frac{x_{i,j}-\min\limits_{j}x_{i,j}}{\max\limits_{j}x_{i,j}-\min\limits_{j}x_{i,j}}$。由于投建人的当前价值和潜在价值是两个相互独立的维度，因此本文采取分别在两个维度上聚类，再做组合，实现二维客户细分模型。本文采用模糊 C 均值聚类，编程环境采用 MATLAB 2015b （使用了其自带的模糊 C 均值函数），并进行算法结果分析。

聚类算法的执行结果具有多重衡量标准，本文采用紧密性（CP）、分离性（SP）、分类适确性指标（DBI）和邓恩指数（Dunn validity index，DVI）四种衡量标准。紧密性的定义是 $\mathrm{CP}=\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\mathrm{CP}_i$，其中 $\mathrm{CP}_i=\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\frac{1}{|C_i|}\sum_{x\in C_i}\operatorname{dist}(\boldsymbol{x},\boldsymbol{c}_i)$，$k$ 表示聚类的数目，CP

人民邮电出版社

越小意味着类内聚类距离越近；分离性的定义是 $\mathrm{SP}=\frac{2}{k(k-1)}\sum_{i=1}^{k}\sum_{j+i+1}^{k}\mathrm{dist}(\boldsymbol{c}_i,\boldsymbol{c}_j)$，SP 越大意味着类间聚类距离越远；分类适确性指标的定义是 $\mathrm{DBI}=\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\max_{j\neq i}\left(\frac{\mathrm{CP}_i+\mathrm{CP}_j}{\mathrm{dist}(\boldsymbol{c}_i,\boldsymbol{c}_j)}\right)$，DBI 越小意味着类内距离越小且类间距离越大；邓恩指数的定义是 $\mathrm{DVI}=\frac{\min\limits_{1\leqslant m,n\leqslant k}\ \min\limits_{\substack{\boldsymbol{x}_i\in C_m\\ \boldsymbol{c}_j\in C_n}}\mathrm{dist}(\boldsymbol{x}_i,\boldsymbol{x}_j)}{\max\limits_{1\leqslant l\leqslant k}\ \min\limits_{\boldsymbol{x}_i,\boldsymbol{x}_j\in C_l}\mathrm{dist}(\boldsymbol{x}_i,\boldsymbol{x}_j)}$，DVI 越大意味着类间距离越大且类内距离越小。

首先，在当前价值维度对样本做聚类分析。可用面积属性是二值变量，取值为自有或租赁，809 个样本中自有的样本为 599 个，租赁的样本为 210 个，因此考虑在每个属性下分别对当前价值进行聚类。在本实验中，通过指定输入参数多次运行算法，最后发现分成三类时算法的性能比较好，算法结果见表 2。实验表明，在自有和租赁两种属性下，模糊 C 均值聚类的各项性能指标都比较好，它获得的聚类中心见表 3。

从表 3 可得，在自有和租赁两种属性下，投建人的当前价值可以分成两类：高价值和低价值。聚类中心 $\boldsymbol{c}_1$ 的特点是电站建成面积和成本都属于中等水平，但使用的是最好的集成商，聚类中心 $\boldsymbol{c}_2$ 的特点是电站建成面积和成本都属于高水平，但使用的是中等水平的集成商，总体来看这两类的当前价值都很高，因此可将它们都归入高价值。聚类中心 $\boldsymbol{c}_3$ 的特点是电站建成面积和成本都属于低水平，并且使用的是最差的集成商，因此将它归入低价值。

表 2　在潜在价值维度 FCM 聚类算法的性能

		CP	SP	DBI	DVI
自有	FCM	0.2377	0.2033	2.8528	0.0053
租赁	FCM	0.2412	0.2242	2.5205	0.0087

表 3　潜在价值维度的聚类中心

	特征	$\boldsymbol{c}_1$	$\boldsymbol{c}_2$	$\boldsymbol{c}_3$
自有	建成面积	0.2730	0.4582	0.2182
	投建成本	0.2091	0.3814	0.1596
	集成商属性	0.8437	0.2958	0.0715
租赁	建成面积	0.2787	0.4996	0.2287
	投建成本	0.2187	0.4256	0.1741
	集成商属性	0.8072	0.3084	0.0973

其次，在潜在价值维度对样本做聚类分析。在本实验中，分成三类时算法的性能也比较好，算法结果见表 4。实验表明 FCM 聚类的性能非常好，它得到的聚类中心见表 5。

表 4　在潜在价值维度 FCM 聚类算法的性能

	CP	SP	DBI	DVI
FCM	0.122 2	0.380 6	0.486 8	0.707 1

表 5　当前价值维度的聚类中心

特征	$\boldsymbol{c}_1$	$\boldsymbol{c}_2$	$\boldsymbol{c}_3$
父母社会阶层	0.750 1	0.500 6	0.152 7
最高学位	0.999 5	0.505 6	0.000 5

从表 5 可以明显观察到，投建人在潜在价值维度可以分为 3 类：高价值、中价值和低价值，其中高价值体现为投建人的父母社会阶层和最高学位都很高，中价值体现为投建人的父母社会阶层和最高学位都处于中等，而低价值表现为投建人的父母社会阶层和最高学位都较低。

综上所述，从当前价值和潜在价值两个维度对投建人进行细分，组合类别见表 6。

3.3　基于顾客价值细分模型的营销策略

根据表 6 的分类结果，在可用面积属性为自有和租赁的情况下，投建人都可以分成 6 类。基于客户价值，又可以将这 6 类分成 3 个大类：高价值、中价值和低价值。其中高价值组合包括（高价值，高价值）和（高价值，中价值），中价值组合包括（高价值，低价值）和（低价值，高价值），低价值组合包括（低价值，中价值）和（低价值，低价值）。

（1）高价值投建人

首先，他们投建的电站建设质量较好，如果后期妥善管理，电站能够实现良好的收益。其次，他们父母的社会阶层都较高，很容易获得社会资本；其本身的受教育水平较高，通常能够理性地考虑问题，还债意愿强烈。综上，针对这类顾客，国网电商平台应当积极与其合作，最终实现互利双赢。

（2）中价值投建人

他们的问题是获得社会资本不容易，但投建的电站质量很好，或者是获得社会资本比较容易，但电站的建设质量一般。针对当前价值低而潜在价值高的客户，国网电商平台可以与其合作，但必须严格监管其投建电站的运行维护情况，保证电站长期安全平稳运

人民邮电出版社出版

表 6　基于当前价值和潜在价值的客户价值细分

		潜在价值		
当前价值	自有	（高价值，高价值） （低价值，高价值）	（高价值，中价值） （低价值，中价值）	（高价值，低价值） （低价值，低价值）
	租赁	（高价值，高价值） （低价值，高价值）	（高价值，中价值） （低价值，中价值）	（高价值，低价值） （低价值，低价值）

行。针对潜在价值低而当前价值高的顾客，国网电商平台应当严格审核投建人的信用记录，对于信用好的投建人可以积极与其合作。此外，还可以建议其提升电站资产规模，将其转化为高质量投建人。

（3）低价值投建人

对于当前价值和潜在价值都很低的投建人，其电站质量比较差，并且其获取社会资本不易以及偿债意愿不强，因此建议国网电商平台不与其合作。对于当前价值低，但潜在价值中等的投建人，严格审核其信用记录，谨慎与其合作。

由于租赁屋顶需要额外的租赁费用，并且在电站运行过程中也可能会遇到维护不方便等问题，存在一定的不能长期稳定运营的风险，因此可用面积属性为自有的投建人的客户价值要高于同等价值分类下可用面积属性为租赁的投建人。对于租赁的投建人，还需要严格审核其租赁合同，保证电站能够长期稳定运行。

4　结束语

基于光伏电站投建人的客观真实数据，本文首先构建了投建人价值评价指标体系。然后，通过聚类分析建立了二维投建人细分模型。在二维投建人细分模型中，投建人的价值可以分为高价值、中价值和低价值 3 个等级，每个等级人员的构成可以通过聚类中心体现。最后，针对细分模型提出了相应的营销策略。此外，二维投建人模型还可以观察到客户群的人数分布等，能够找出最重要的客户群和最大的客户群，这对于精准营销具有重要的帮助。

本文给出的营销策略为电商平台的光伏金融产品营销决策提供了科学依据。本文的模型也适用于其他类似的新能源金融产品。然而，本文只是依据客观数据对投建人的资质进行细分，并没有解决电站资产评估等问题，但这是一个值得研究的重要主题。

参考文献：

[1] 赵保国. 顾客细分模型及实证研究[J]. 财经问题研究,2006,272(7):85-90.

[2] 孟庆良,邹农基,陈晓君.面向客户资产的三维客户细分模型及其应用[J]. 数理统计与管理,2008, 27(5): 785-794.

[3] 胥学峰, 邢德恩, 宗炫君. 基于 PCA 与 SOM 神经网络算法的客户价值细分模型研究[J]. 电气自动化, 2017, 39(3):49-52.

[4] 褚格林. 基于聚类模型的电信客户细分研究[J]. 统计与决策,2014(8):176-179.

[5] 吴玲, 李丛丛. 基于客户终身价值的电力客户细分研究[J]. 科技和产业, 2012,12(11):107-110.

[6] 姜园, 张朝阳, 仇佩亮, 等. 用于数据挖掘的聚类算法[J]. 电子与信息学报, 2005,27 (4) :655-662.

[7] 连漪, 杨硕. 基于忠诚度的客户价值细分模型构建及其应用[J]. 商业时代 , 2016 (14) :42-45.

[8] 周志华. 机器学习[M]. 北京：清华大学出版社, 2016.

人民邮电出版社出版

基于数字化业务流程的国网党建信息化综合管理系统

黄琪，赵鑫，蔡启煌
（北京中电普华信息技术有限公司，北京 100192）

摘　要：国家电网公司为了贯彻落实全面从严治党，进一步提升公司党建工作的信息化、专业化和科学化管理质量水平，实现对党组织党员基础信息的全面采集、党建业务的全过程管控、党员政治生涯全周期管理、党建成效全景式呈现的任务目标，启动了国网公司党建信息化综合管理系统建设项目。基于数字化的业务流程管理平台的引入，为党建信息化综合管理系统的建设提供完善的流程管理模型、工具和机制，为党建业务流程的信息化设计开发工作、党建业务的全过程管理和管控预警提供了提供良好的基础支撑。

关键词：党建信息化综合管理系统；流程管理平台；流程处理过程

1　引言

党的十九大将全面从严治党纳入了新时代中国特色社会主义基本方略，突出强调要“善于运用互联网技术和信息化手段开展工作”。国网公司为了贯彻落实全面从严治党，进一步提升党建工作的专业化和科学化管理水平，实现对党组织党员基础信息的全面采集、党建业务的全过程管控、党员政治生涯全周期管理、党建成效全景式呈现的任务目标，于 2017 年开展了国网公司党建信息综合管理系统建设工作。

2　总体架构设计

国网党建信息化综合管理系统旨在展现公司党务活动的开展、党组织、党员建设情况，为上级领导提供公司党建工作汇报宣传平台。

国网党建信息化综合管理系统总体架构如图 1 所示，包括运行支撑、数据存储、基础服务层、业务逻辑层、展现层和终端 6 个系统层面。核心功能包括党组织管理、评优评先、工作责任制、党员队伍管理、典型经验库、党员教育、学习管理、资讯管理、组织

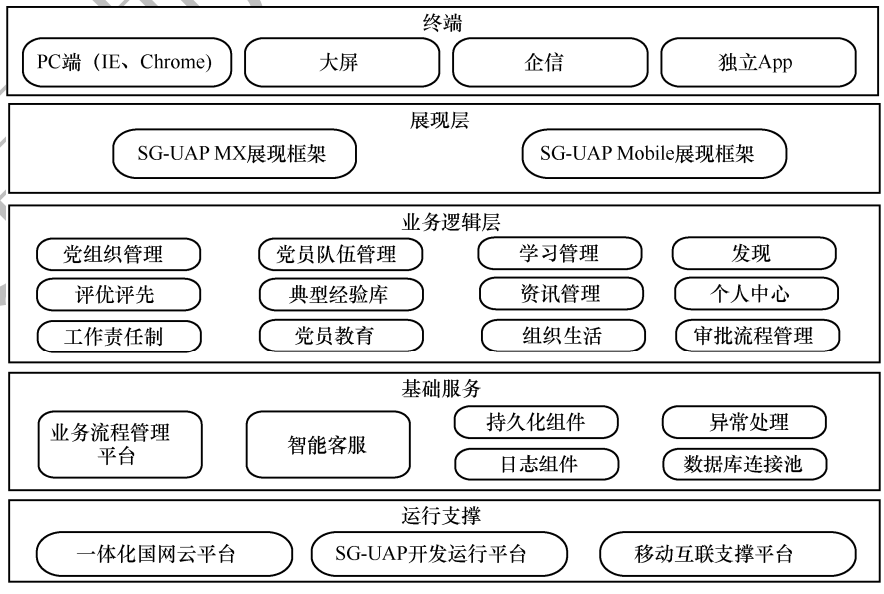


图 1　党建信息化综合管理系统总体架构

生活、发现、个人中心、审批流程管理等。

（1）党组织管理

该功能实现党组织机构的组织全生命周期管理，其中包括组织创建、信息编辑、组织改建、组织奖惩、组织撤销、党费管理和选举管理等业务的管理。

（2）评优评先

该功能实现对先进基层党组织、电网先锋党支部、优秀共产党员、优秀党务工作者等奖项的申报评比管理。

（3）工作责任制

该功能实现向上级单位提交本单位党组织书记抓党建工作述职报告，上级单位审批同意或退回等全过程的管理功能。

（4）党员队伍管理

该功能实现对党员队伍信息的管理，提供党员基本数据档案管理功能，其中包括对历史数据、党员发展数据、党组织关系转接数据、临时党员数据的管理；提供党员信息的管理，其中包括党员基本信息、党员奖惩信息、困难党员情况、党员家庭情况等信息，并实现与 ERP 系统进行党员信息的数据同步。

（5）典型经验库

该功能对各单位实施的“旗帜领航·三年登高”计划、完善“六大工作体系”、构建“六位一体”大党建工作格局的典型做法、先进经验进行集中管理和分级展现，促进各单位比学赶超、互促互进。

（6）党员教育

该功能实现对党员教育管理业务工作的管理功能，其中包括民主生活会、三会一课和共产党员服务队等业务进行管理。

（7）学习管理

该功能实现对中心组学习的业务管理，其中包括中心组成员、年度学习计划、集体学习研讨、专题调研、年度学习情况和学习情况等业务的管理功能。将各类业务功能系统化的展示，提供数据维护入口，学习资料管理平台，为中心组学习管理提供业务上的支持与管理方式上的提升。

（8）资讯管理

该功能提供功能导航和资讯两个功能。功能导航为图书馆、组织生活日历、我的支部、我的党费等功能模块提供入口。资讯功能按照用户所在行政单位层级提供中央精神、上级精神、公司部署、基层信息三类或四类新闻资讯的集中展示，提供查看、收藏等功能。

（9）组织生活

该功能提供“我的支部”“我的党费”和“组织生活日历”三个功能。我的支部实现对所在党支部基本信息以及支部风采、支部荣誉等情况集中展示；我的党费实现对党费缴纳的历史记录和详情查看功能；组织生活日历实现三会一课等组织生活通知的标识、提醒功能，提供查看会议资料、扫码签到、生成会议记录、写心得等功能。

（10）发现

该功能提供共产党员服务队功能。共产党员服务队功能实现共产党员服务队信息的宣传展示功能，其中包括服务活动的文字记录、图片等信息，提供服务队点赞量反馈功能。

（11）个人中心

该功能实现个人信息、收藏和设置功能。个人信息提供用户姓名、性别、政治面貌、荣誉等内容的查看功能和头像维护、更改功能；收藏提供对新闻资讯的收藏功能；设置提供通知提醒、意见反馈等功能。

（12）审批流程管理

审批流程模块在党建信息化综合管理系统中主要是用于流程建模、发起、审批等。审批流程管理模块在党建信息化综合管理系统中处于核心地位，由国网党建信息化综合管理系统的业务流程管理平台进行支撑。

3 流程处理过程

统一流程管理平台以接口的形式与党建信息化综合管理系统进行集成。党建信息化综合管理系统通过调用 SG-BPM 接口完成流程启动、流程流转、工作项完成操作。

3.1 流程启动过程

党建信息化综合管理系统处理流程启动过程如图 2 所示，详细步骤如下。

步骤 1 党建信息化综合管理系统通过调用 ISC 接口获取参与者 ID，保证流程参与者的合法性。

步骤 2 党建信息化综合管理系统调用 BPM 启动流程接口，传输 BPM 接口所需参数（流程定义 ID，流程实例 ID，工作项 ID，参与者 ID）。

步骤 3 业务流程管理平台接收流程定义 ID，查询该流程定义所属租户，验证该参与者是否有权限启动流程。“是”进入“步骤 4”，“否”则进入“步骤 5”。

步骤 4 业务流程管理平台启动流程，生成流程实

人民邮电出版社出版

例。流程平台内部自动启动第一个节点并生成对应工作项。(工作项由业务流程管理平台根据每个流程实例临时生成，工作项完成后即被删除)

步骤 5 业务流程管理平台处理本次请求完毕，并将流程实例 ID 反馈给党建信息化综合管理系统。

步骤 6 结束，党建信息化综合管理系统接受业务流程管理平台处理结果。

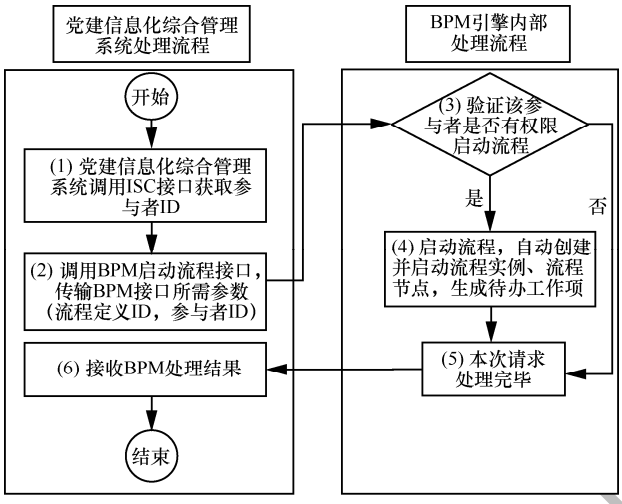


图 2 流程启动过程

注：流程定义 ID：流程模型的唯一标识。流程实例 ID：执行一次根据流程模型的启动到结束，视为一个流程实例。工作项 ID：单个流程节点下对应的工作任务，一个流程节点下存在一个或者多个工作项。参与者 ID：完成工作项的人员的唯一标识。

3.2 查询待办工作项过程

党建信息化综合管理系统查询待办工作项过程如图 3 所示，详细步骤如下。

步骤 1 用户通过 ISC 统一认证登录党建信息化综合管理系统（登录用户 ID 即为参与者 ID），保证用户身份的合法性。

步骤 2 用户登录党建信息化综合管理系统后，查询待办工作项。

步骤 3 党建信息化综合管理系统得到用户指令后，调用 BPM 查询工作项接口，传输 BPM 接口所需参数（流程定义 ID，参与者 ID）。

步骤 4 业务流程管理平台接收流程定义 ID，查询该流程定义所属租户，验证该参与者是否有权限查询该流程下待办工作项。“是”则进入“步骤 5”，“否”则进入“步骤 6”。

步骤 5 业务流程管理平台获当前参与者待办工作项。

步骤 6 业务流程管理平台处理本次请求完毕，并将当前参与者待办工作项反馈给党建信息化综合管理系统。

步骤 7 结束，党建信息化综合管理系统接受业务流程管理平台处理结果。

3.3 完成待办工作项过程

党建信息化综合管理系统完成待办工作项过程如图 4 所示，详细步骤如下。

步骤 1 用户通过 ISC 统一认证登录党建信息化综合管理系统（登录用户 ID 即为参与者 ID），保证用户身份的合法性。

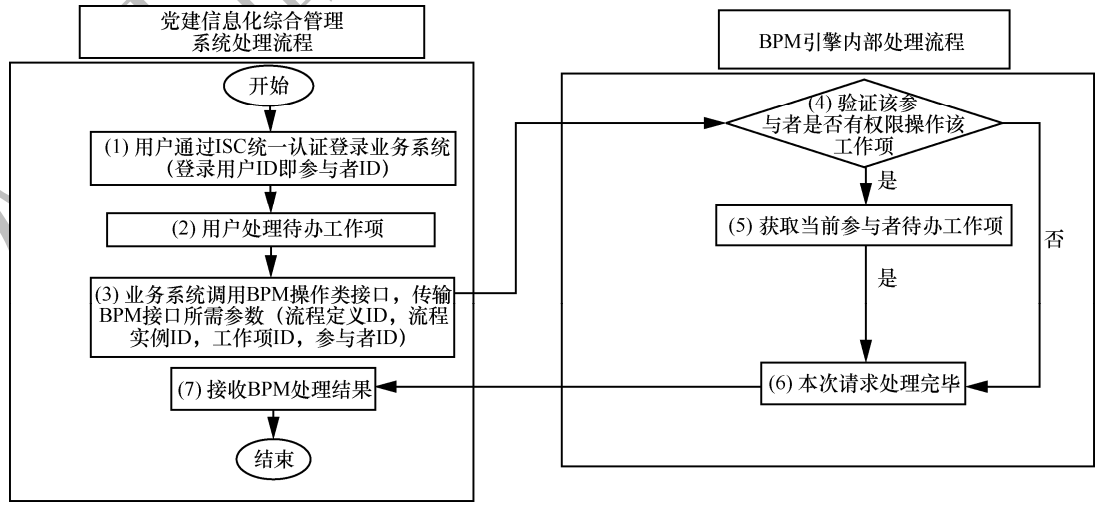


图 3 查询待办工作项过程

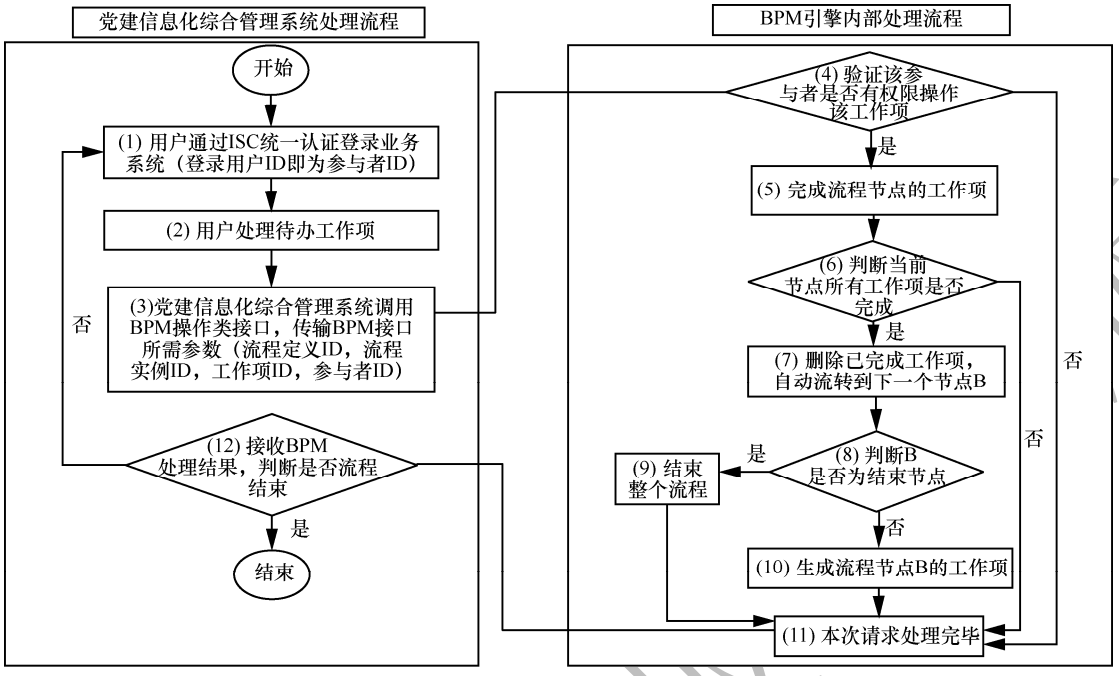


图 4 完成待办工作项过程

步骤 2 用户登录党建信息化综合管理系统后，处理待办工作项。

步骤 3 党建信息化综合管理系统调用 BPM 完成工作项接口，传输 BPM 接口所需参数（流程定义 ID，流程实例 ID，工作项 ID，参与者 ID）。

步骤 4 业务流程管理平台接收工作项 ID、参与者 ID，查询该工作项所配置的参与者，验证该参与者是否有权限完成工作项。“是”则进入“步骤 5”，“否”则进入“步骤 11”。

步骤 5 根据工作项 ID 完成参与者当前流程节点下的该条工作项。

步骤 6 判断当前流程节点下的所有工作项是否都已完成，“否”则无法跳转到下一节点，等待党建信息化综合管理系统处理当前流程节点的其他待办工作项。“是”进入“步骤 7”。

步骤 7 系统自动删除当前节点已完成的工作项，同时自动流转到下一个节点 B。

步骤 8 判断流程节点 B 是否为结束节点，“是”则进入“步骤 9”，“否”则进入“步骤 10”。

步骤 9 结束整个流程。

步骤 10 产生流程节点 B 对应的工作项，工作项会根据预先配置的参与者自动分配给具体用户，生成具体用户的待办工作项。

步骤 11 业务流程管理平台处理本次请求完毕，并将处理结果反馈给党建信息化综合管理系统。

步骤 12 党建信息化综合管理系统接收业务流程管理平台处理结果，判断流程是否已经结束，“是”则结束，“否”则进入“步骤 13”。

步骤 13 其他参与者登录党建信息化综合管理系统，处理待办工作项，党建信息化综合管理系统再次调用 BPM 完成工作项接口。

业务流程管理平台继续执行流程，直到所有节点全部完成，流程结束。流程数据工作项状态等都由业务流程管理平台内部方法处理、保存；流程节点的流转，由业务流程管理平台依据事先定义好的流程图自动流转，无法通过外部方法调用修改。

4 结束语

党建信息化综合管理系统运用“互联网+党建”新模式，保障党建管理横向到边、纵向到底的要求，满足不同层级用户的业务需求。党建信息化综合管理系统以租户的形式接入业务流程管理平台（BPM），实现党内流程规范化、标准化管理。

参考文献：

[1] 高宁,刘洋.流程虚拟机在企业产品研发平台中的应用算机应用[J].

计算机应用, 2013, 33(a02):256-258.
[2] 陈华平, 黄刘生, 陈国良. 并行分布计算中的任务调度模型[J]. 计算机科学, 1999(6): 33-36.
[3] 胡志刚, 唐小龙, 钟掘. 基于 PVM 的并行分布计算中的任务调度策略[J]. 计算机工程, 2001, 27(3): 25-26.
[4] 唐国钟. 基于 SEDA 的自适应性能优化技术[D]. 电子科技大学, 2008.
[5] 李桂林. 基于 SOA 与 SEDA 的 RFID 中间件平台研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2008.
[6] 高波. 面向 SOA 的多租户（multi-tenancy）技术的研究与实现[D]. 天津: 天津大学，2007.
[7] 欧铁军, 张英. 业务流程管理即服务中的多租户问题研究[J].计算机工程, 2012, 38(1): 42-44.
[8] 郭大龙. 支持多租户的应用软件定制和部署方法研究及流程即服务模式的实现[D]. 杭州:杭州电子科技大学, 2015.

人民邮电出版社出版

基于微服务架构的应用软件项目管理平台的探讨

郑衔锋，闪烁
（中国广核电力股份有限公司信息技术中心，广东 深圳 518124）

摘　要：伴随着互联网和信息技术的快速发展，软件需求日益增长，业务系统日益复杂庞大，使用微服务架构的应用系统可以将业务功能分解成微服务，简化大型系统的开发和维护，有效地应对不断复杂化的应用场景。探讨了一个符合软件全生命周期管理需求的软件项目管理平台，重点介绍了平台的业务需求、总体架构设计。通过引入微服务架构等技术实现系统，满足软件应用开发过程对项目管理的要求，为软件项目管理提供了有效支撑。

关键词：软件项目管理；微服务；Spring Boot

1　引言

几十年来信息技术迅猛发展，软件需求日益增长，开发环境复杂化，软件产品规模急剧增加，软件项目的数字化程度和规范化程度对软件项目的管理和决策有着举足轻重的影响。软件项目管理的对象是软件工程项目[1]，使软件项目（特别是大型项目）能够根据计划成本、进度和质量来分析和管理成本、人力、进度、质量、风险等。通过软件项目管理使整个软件生命周期（从分析、设计、编码到测试、维护全过程）都在管理者的控制之下，对软件项目的工作范围、经历的里程碑、要实现的任务、花费工作量（成本）、进度安排等做到心里有数。

软件项目管理复杂多变，信息的不及时呈现会加大项目管理的难度，项目的计划和执行需要根据项目状态及时调整，避免影响项目质量，所以开发一个符合日常工作需要的软件项目管理平台来管理和控制软件开发是非常有必要的。

2　关于微服务

2.1　微服务概念

所谓微服务[2]，就是将应用程序内的功能尽可能细得进行划分，并将每个细小的功能作为一个独立的服务。每个微小的服务间通常使用 HTTP/API 的方式进行通信，而且它们都专注于具体的业务功能，拥有顽健的模块边界，可以独立部署。每个服务进行协调与配合，最终为用户提供相应的功能需求。

2.2　微服务架构特点

（1）复杂度可控

微服务让应用被分解为多个可管理的分支或服务，通过微服务架构模式，让复杂的功能通过模块化的方式呈现出来，每个服务只关注一个业务功能，让服务更容易开发和维护。

（2）灵活可扩展

微服务架构是松耦合的架构模式，使每个服务独立扩展，每个服务可以进行单独的增减功能，使得整体变得非常灵活。

（3）独立部署

Micro-Services 有独立的运行过程，每个微服务可以独立部署。使用相同的部署环境可以实现批量快速部署微服务。

2.3　关键技术

（1）RESTful API

RESTful 可以通过统一的接口为不同的客户端例如 Web、App 提供统一的服务接口。

（2）Spring Boot

Spring Boot[3]最初是为了简化 Spring 应用程序的初始构建和开发而设计的。但是经过不断的发展，它现在用于开发 Java 微服务。它通过封装底层框架的复杂配置，从而使得开发者可以非常容易地进行微服务的开发。Spring Boot 提供了一些非常强大的通用功能，如 RESTful API[4]功能，所以它在一定程度上极大地提高了工作人员的效率。Spring Boot 目前广泛应用于微服务，可以让他们非常简洁地开发某个庞大系统中的

人民邮电出版社出版

某个单独的服务。

3 软件项目管理平台的业务需求

要构建软件项目管理平台，首先需要明确软件项目管理平台的业务需求。根据实际情况和管理目标要求，软件项目管理平台的功能需求主要有项目管理、运维管理、人员管理、知识库、数据看板等业务功能板块建设，重点建设项目全生命周期管理，如图 1 所示。

（1）项目管理

项目管理是对软件从需求到上线的模块化管理，细化工作任务，明确工作目的，便于对软件生产过程进行管理，能够有效把握产品开发进度。需求管理是对用户的业务需求，经过业务和技术的评审后，结合工作量评估，形成业务、技术认可的终板需求。产品规划是对需求管理形成的终板需求进一步细化，将用户需求转换为产品需求，提炼出产品规划，并形成需求跟踪矩阵，跟踪需求跟产品之间的对应关系。产品实施是对产品实施各阶段进度、质量、成本投入情况地管理，还包括测试阶段的用例管理、bug 管理。

（2）运维管理

运维管理通过对系统运维过程中的问题、故障、缺陷的跟踪，分析异常情况的发生，提前预警处理，将风险有效降低。同时增加系统退役状态，对退役的系统进行退役申请、退役方案、通知用户及归档情况进行管理。

（3）人员管理

人员管理包括通知通告功能，对项目人员资质信息、参与项目、离开项目的信息进行电子化记录，对人员所参与的项目进行权限授权以及对学习、培训和考核情况进行管理。

（4）数据看板

数据看板包含项目健康状态和运维健康状态两部分。项目健康状态通过对项目管理模块中单个项目执行过程中的数据进行提取分析，对项目健康状态进行评分，有效展示项目所处阶段，分析项目存在的风险及问题。运维健康状态是对运维管理过程中产生的数据进行收集汇总展示。对项目投产成功率进行展示，对投产异常情况进行分析，提前进行预警处理，避免异常发展成事件或问题。

4 系统架构与描述

4.1 系统架构设计

根据微服务架构的设计原则以及应用软件项目管理平台的功能需求，设计出如图 2 所示的系统架构。因为软件开发过程中各种资源的分散性和人员流动性，客户端包含 PC 端的 Web 应用以及移动端的 App 的微信，平台使用 REST 协议为不同的客户端提供统一的服务接口，方便服务调用。平台基于 Spring Boot 开发，以 Tomcat 作为 Web 容器，集成 MyBatis 数据持久层访问组件；平台接入层的负载均衡和 Web 缓存由 NGINX+LVS 负责，选择最优的服务地址，保障高

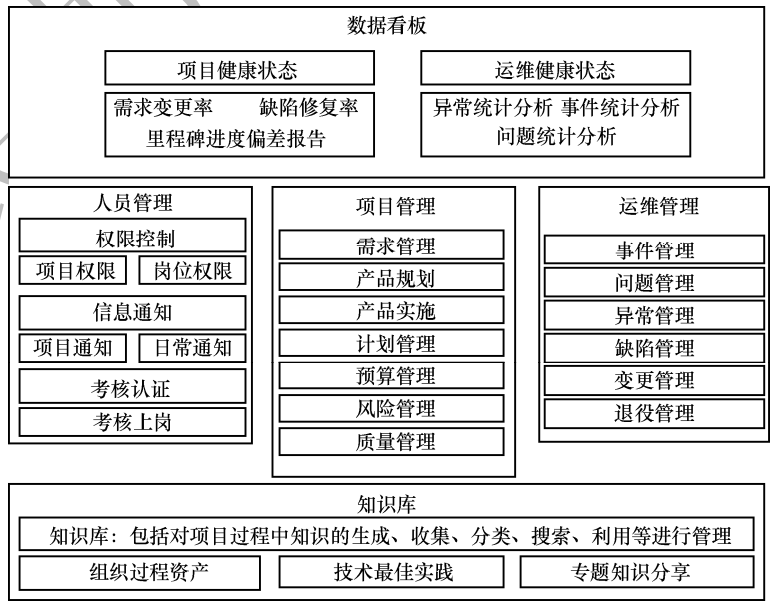


图 1 软件项目管理平台总体功能架构

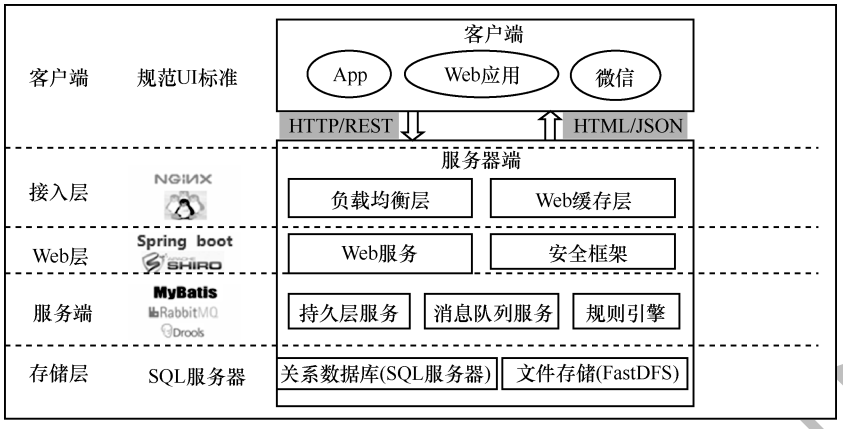


图 2　系统架构设计

可用的服务调用；使用 Drools 作为规则引擎做项目复杂判断的业务，可以对侧重点不同的各类项目调用不同的规则计算，展现不同的视图。

4.2　数据信息描述

要在管理系统中管理软件项目和改善软件组织的能力，必须在系统中定义管理活动所需要的各项数据。系统将以产品为主线回溯全生命周期信息，利用数据信息来支撑管理活动。在软件开发过程中形成的数据主要为各种文档或成果物，按照其产生的不同阶段可以分为 8 个部分：需求信息、设计方案、计划信息、实施过程、支付情况、运维信息、系统退役、其他关注，数据来源如图 3 所示。软件角色和软件组织是项目资源的主要数据，软件组织由软件角色组成。项目开发过程中，经常会将一个任务拆分成一系列的子任务来完成，会形成项目的过程数据。因此文档或成果物、项目资源、过程数据 3 部分信息将主要构成应用软件项目管理系统的数据基础。

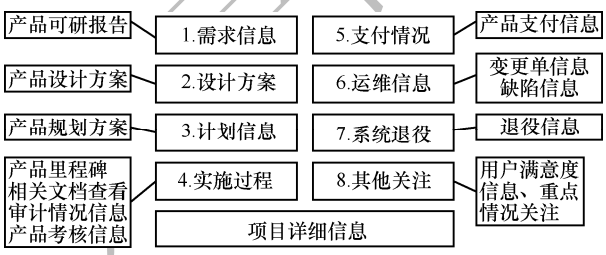


图 3　项目详细信息及来源

5　系统实现

软件采用 B/S 结构，根据日常的办公环境条件使用现阶段常用的 IE11、Chrome 浏览器登入，不需要再安装其他应用软件，没有操作系统的限制，能较好满足分散式的开发环境和流动人员要求。管理人员可以通过管理系统清晰了解项目的最新进展，能较好地满足软件项目管理要求。

该平台采用 Tomcat 服务器，使用 SQL Server 关系型数据库。通过使用 RESTful API+AJAX 的方式使页面的功能逻辑和前端界面代码相分离，系统后端使用 Java 语言编写，采用 Spring Boot 框架编写服务，从而加快了系统的开发和测试速度，也便于后期的维护。

6　结束语

该应用软件项目管理系统综合了项目管理、运维管理、人员管理、知识库、数据看板功能，这些模块的综合可以有效解决多种变化请求、定制生命周期模型和控制软件开发中的资源，使得使用该系统进行软件项目管理可以充分地跟踪软件开发过程中需要进行的一系列活动，以帮助软件组织持续地改进软件过程能力、开发出高质量的软件产品。

参考文献：

[1]　王旭. 深入探讨软件项目管理[J]. 微计算机信息, 2012.

[2]　郭栋, 王伟, 曾国荪. 一种基于微服务架构的新型云件 PaaS 平台[J]. 信息网络安全, 2015(11): 15-20.

[3]　王永和, 张劲松, 邓安明, 等. Spring Boot 研究和应用[J]. 信息通信, 2016(10): 91-94.

[4]　刘兴邦. 基于 RESTful 和 Android 的途家网房源管理系统的设计与实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2015.

录用电力出版社出版

基于物联网技术的电缆生产质量数据采集研究

郝庆利，李映炼
（北京中电普华信息技术有限公司，北京 100192）

摘　要：随着信息化技术的逐渐成熟以及国家对工业互联网的大力支持，企业生产监控系统得到快速发展，产品质量有了更高的保障。实时采集电线电缆质量数据，对于构建高效的电缆质量监控系统具有重要意义。首先分析了电线电缆生产质量数据的来源，结合当前物联网技术的发展情况，基于传感器技术、Wi-Fi 无线通信和以太网技术，提出了适用于电线电缆行业的质量数据采集网络通信和硬件部署方式，构建了一个实时、高效的电线电缆生产质量数据采集体系。

关键词：物联网；电缆生产；数据采集

1　引言

电力传输的安全性对于保障居民生活以及经济发展具有至关重要的作用，电线电缆作为电力传输过程中最关键的设施，其质量水平的高低直接影响到电力传输的安全性，从而决定居民生活品质的高低。所以，建立完善的电线电缆质量监控系统对于保障电力传输安全性具有重要意义。

随着信息化与工业化的进一步融合，物联网技术已经被广泛应用于各类生产监控及产品溯源系统。徐湘忆等人[1]选取监测项目，分析了关键技术的应用场景，从系统组成、硬件实现、软件架构 3 方面设计了电缆生产质量监测系统。李彩云[2]分析了交联电缆生产工艺流程，主要从温度控制的角度设计了交联电缆的生产监控系统。刘贝尔等人[3]基于工业以太网，从硬件和软件两方面设计了交联电缆的生产监控系统。

现有的工厂设备和传感器几乎都没有提供无线模块来传输数据，即使有些 PLC 可以加装无线模块，它传输的数据格式也与系统约定的协议格式不一致。各个设备来自不同的厂商，它们的数据通信协议都不一样，即使是同一种通信协议（比如 RS485），使用的通信参数，如波特率、校验形式等又不一样，需要一个设备做一致性的转化，向服务器提供指定协议格式的数据。

本文通过分析电力电缆生产的质量数据来源，明确数据采集对象，对质量数据分类，基于物联网数据通信技术和硬件设备，构建一个适合电线电缆生产质量数据采集的体系。

2　数据采集对象

电力电缆生产质量数据主要来源于各个生产工艺流程。本节从电力电缆生产工艺流程入手，分析了电力电缆生产的质量数据来源。电线电缆的生产包括扎、拉、绞、挤 4 个流程，各个流程都有其质量关键点。

（1）连铸连轧。连铸连轧是指将连铸机与连轧机组合成连铸连轧机组，使连铸机生产出的铸坯不需加热，直接轧制成线材的过程，该流程可以分为熔保炉工段、铸造工段和轧机收线工段 3 部分。

质量关键点：保温炉铝液温度、浇铸下浇煲铝液温度、铸锭温度、冷却水温度、冷却水压力、乳化液温度、乳化液压力、浇铸电机反馈电压、连轧电机反馈电压、连轧电机反馈电流[4]。

（2）导体拉制。导体拉制是指在一定的拉力作用下，线材通过模孔产生塑性变形，减少截面、增加长度的一种压力加工方法。

质量关键点：电阻率、机械性能、化学成分、外形、尺寸偏差[5]。

（3）导体绞制。根据电线电缆生产工艺的需要，将铝单丝按照一定规则进行排列组合并绞制成导体的过程。

质量关键点：节径比、结构尺寸、绞向、截面、外观[6]。

（4）绝缘挤出。根据电线电缆不同的性能要求，采用专用设备在导体的外面连续挤压，将塑料包覆在

人民邮电出版社出版

导体上，达到绝缘层、护套层甚至是屏蔽层的目的。

质量关键点：绝缘材料、阻燃配比、绝缘厚度、绝缘性能、偏心度、光滑度、致密度[7]。

根据以上 4 个工艺流程的质量关键点，结合电线电缆实际生产关键参数及数据测量方式，表 1 列出了各质量参数的具体名称。

表 1　电线电缆生产质量数据

工艺流程	参数名称	工艺流程	参数名称
连铸连轧—熔保炉工段	铝液成分	拉丝生产工段	铝杆抗拉强度
	配料过程成分		铝杆&丝拉伸率
	最终铝液成分		铝杆&丝导电率
	铝液温度		单丝直径
	流槽温度监测		铝杆外观、毛刺、形状、划伤、飞边
	流槽液位探测		单丝外观、毛刺、形状、划伤
连铸连轧—铸造工段	铸机速度	绞线生产工段	设置节距
	铸机电流		实际节距
	浇包温度		外观
	坯料温度		最外层接头
	液位波动		绞线整体电阻
连铸连轧—轧机收线工段	中频电压		成品单丝导电率
	中频电流		钢芯抗拉强度
	中频炉入口温度		锌层附着性
	中频炉出口温度		锌层含量
	乳化液温度	绝缘挤出	阻燃配比
	乳化液压力		绝缘厚度
	乳化液流量		绝缘性能
	乳化液浓度		偏心度
	轧机速度		光滑度
	轧机电流		致密度
	收线速度		

3　系统总体设计

一个数据采集系统不仅要考虑众多数据采集终端的接入方式，还要考虑网络接入。接入方式不仅要考虑接口形式及所用的通信协议，而且还涉及数据传输容量及速率等问题[8]。

电缆生产车间面积大、流程复杂，生产质量数据多。无线通信技术成本低廉、设备灵活性和易用性非常高，具有有线技术无法取代的优势，这些年来逐步渗透到工业控制的每一个细节。采用无线通信技术可以有效提高数据传输效率并降低成本[9]。

图 1 为基于无线网络传输的电缆生产质量数据采集体系架构，该系统主要由生产线设备、采集模块、无线路由器、以太网服务器、Internet 和数据中心 6 个部分构成。

生产现场采用无线网络和工业以太网的形式搭建起整个工厂的数据传输网络。生产线设备包括 PLC、光谱仪、测径仪以及其他传感器。首先，底层的数据采集模块通过无线网络连接到车间现场的局域网，同时使用串口通信等形式采集生产线设备上的质量数据。其次，采集模块将这些数据按照约定的通信协议格式打包，并使用 TCP/IP 发送到现场的以太网服务器，服务器上的软件将对接收的数据进行解析、处理和存储。最后，通过以太网将数据传输到数据中心。

4　网络传输协议

（1）连接层协议

在连接层，信息以帧为单位进行传输。连接层协议的功能就是识别 0/1 序列中所包含的帧。Wi-Fi 是现在最常见的连接层协议，通过连接层协议，可以建立局域的 Wi-Fi 局域网，处在同一局域网络中的两台计算机之间可以通信。

近年来，智能设备技术不断发展，新的应用领域和互联场景不断出现，物联网已经进入到一个快速增长和爆发的时代。网络通信作为物联网的基础，通信技术选型至关重要。常见的无线网络通信技术有：

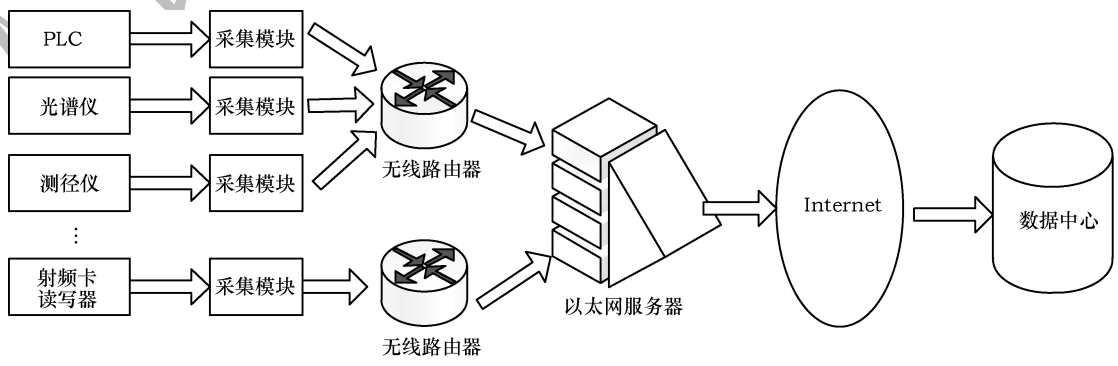


图 1　电缆生产质量数据采集体系

Wi-Fi、NFC、ZigBee、蓝牙、WWAN、NB-IoT、Sub-1 GHz 等。其在组网、功耗、通信距离和安全性等方面各有差别，因此拥有不同的适用场景[10]。

红外技术、蓝牙技术的传输速率都非常高，但是传输范围很小。ZigBee 网络为自组网络，数据传输通过多跳路由节点来实现，功耗低且廉价[11]；目前大多数监控系统都采用 ZigBee 技术，但是当存在较多节点且传输数据量较大时，如存在多路视频数据，ZigBee 节点就会出现组网复杂，传输速率慢且十分不稳定等问题。Wi-Fi 是一种短距离无线通信技术，其传输速率快，电波覆盖范围广，且不受墙壁阻隔；同时，Wi-Fi 可以与基于 XML 的 Web 服务相结合，能大幅度降低网络硬件的成本。并提高网络加入的灵活性。

将 Wi-Fi 通信技术应用于电线电缆生产质量数据的采集系统，可以实现数据高效、准确地传输，从而提高采集数据的质量。

（2）网络层协议

在连接层当中，一个帧中只能记录两个地址：收信地址（source, SRC）和送信地址（destination, DST）。然而，信息通过路由连接 Wi-Fi 和以太网的过程需要经过 4 个地址（计算机一，Wi-Fi 接口，以太网接口，计算机二）。所以，仅依靠连接层协议无法完成数据的传输过程。此时需要应用 IP 为每一个链路分配一个全局唯一的网络号，用以标识各个网络，对 IP 数据分组进行分割与组装，在主机间建立虚拟连接，从而实现可靠性较高的数据分组交换

（3）传输层协议

传输层协议是使用端口号来识别某个进程。例如在邮寄信件时，需要写上目的地端口。当信件到达目的地管理员手中，管理员会根据传输层协议，识别端口号并将新建送给不同的人。

TCP 和 UDP 是两种不同的传输层协议。UDP 是无连接的，不提供可靠的数据传输服务的高效的传输协议[12]。TCP 是面向连接的提供可靠的数据传输服务的传输协议。

将 TCP/IP 组合应用于线缆生产质量数据采集的网络层与传输层，可以实现不同硬件和不同操作系统的计算机之间可靠的网络通信。TCP 可以保证数据分组传输的可靠性；IP 可以保证数据分组被传输到目标计算机上。

5 硬件实现

数据采集系统主要用于外部信号的采集和设备的控制，从信号形式的角度，实际采集的数据可以分为模拟量信号、数字量信号、开关量信号 3 类。模拟量是指量值在一定的范围内可连续变化的物理量，例如温度、压力等。数字量是只能在一个范围内取某些特定值的物理量，例如人数、物品个数等。开关量信号分为有源开关量信号和无源开关量信号，有源和无源的区别在于“开”与“关”的状态是否带电源。

数据采集模块在硬件上的需求是：一组与现场设备通信的接口，比如 RS485 串口芯片，用来与生产线设备进行通信，获取设备采集的数据和其状态信息；一个无线通信芯片，用来连接到现场的局域网并向服务器发送采集数据；一个工业级的微处理器芯片，用来控制与设备的通信并对采集数据的进行封装，同时实现无线通信芯片与局域网的连接和数据的收发。

系统硬件结构如图 2 所示。

系统硬件选用了两款单片机，C2000 单片机和 MSP430 单片机，两者通过 10 个 I/O 口进行数据的通信，其中 8 个 I/O 口用于数据的收发，2 个 I/O 口用于数据通信的控制。

C2000 是通道隔离型的智能模拟量数据采集器，

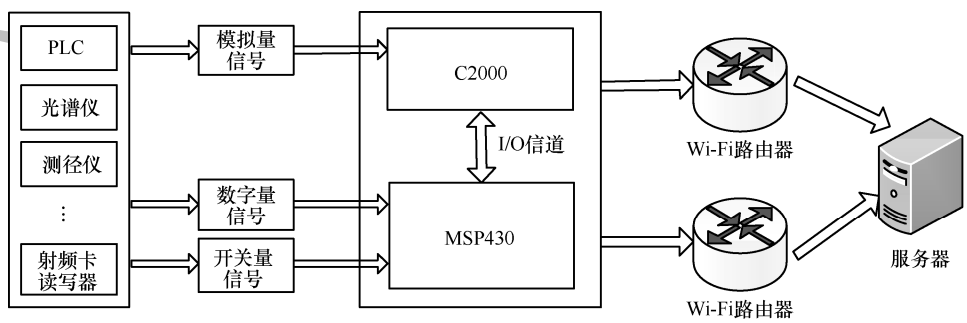


图 2　系统硬件部署

八路电流型模拟量输入，采用满量程通道隔离、全差分输入设计。两路数字量输入，RS485 接口光电隔离和电源隔离技术。通过 RS485 接口可以实现对远程模拟量数据的采集与控制。

MSP430 是一个 16 位的单片机，采用了精简指令集（RISC）架构，具有处理能力强、运算速度快等特点，主要应用在工控领域。MSP430 主要负责数字量和开关量的采集，有四路 UART 串行接口，其中三路采用 RS485 串行通信方式，扩展用于外置 AD 采集模块的数据收发[13]。

由于选择 Wi-Fi 无线网络进行数据传输，所以无线路由器选择 Wi-Fi 路由器，从成本上元器件都使用工业级材料，采用串口通信，实现质量数据快速可靠的传输至本地服务器。

6 结束语

本文首先分析了电线电缆生产的质量数据来源，明确数据采集对象，对质量数据分类。然后，基于物联网数据通信技术和硬件设备技术，构建一个实时、高效的电缆生产质量数据采集体系。

基于物联网技术对电缆生产质量数据采集系统进行设计，不仅可以实现数据的实时采集，而且能为生产计划层提供准确的生产能力数值。该系统实现了对电缆生产质量的数据采集和数据追溯，既能提高电线电缆的生产质量，也能带动生产车间朝着智能化、无纸化的方向发展，具有较好的实际应用价值。

参考文献：

[1] 徐湘忆, 李骥, 胡正勇,等. 电线电缆生产质量远程监测系统[J]. 电线电缆, 2016(5):6-9.

[2] 李彩云. 交联电缆生产线智能监控系统[D]. 上海：东华大学, 2017.

[3] 刘贝尔, 董爱华, 孔维健,等. 基于工控网的交联电缆生产监控系统案例[J]. 仪表技术, 2018(6).

[4] 雷文魁, 周海涛, 王顺成,等. 连铸连轧 6201 电工铝合金的组织性能演变规律[J]. 塑性工程学报, 2015(2): 100-104.

[5] 费祥. 电线电缆制作工艺流程基本知识[J]. 电子世界, 2013(10): 55-56.

[6] 高新明. 铝合金电缆导体制造技术与质量控制研究进展[J]. 建材发展导向:上, 2017, 15(10): 335-335.

[7] 游泳. 阻燃聚烯烃电缆绝缘及护套挤出工艺探讨[J]. 电线电缆, 2000(5): 46-48.

[8] 王宇航. 工业生产环境数据采集与无线传输系统设计[D]. 长沙：湖南大学, 2015.

[9] KAMINO S, INOUE J, SHIMIZU Y. Development of an automatic meter reading system using low voltage distribution line carrier transmission system by signal injection between common ground wire and the ground[J]. Metering Apparatus and Tariffs for Electricity Supply, 1992, 8(17): 238-242

[10] 范春辉. 物联网短距离无线传输技术研究[J]. 无线互联科技, 2017(19).

[11] ZHANG H. The design of wireless sensor network system based on ZigBee technology[J].Applied MechAnics & MAteriAls, 2014, 686(7): 53-55.

[12] TANENBAUM A S, WETHERALL D J. Computer networks[M]. Englewood: Prentice Hall, 2010, 417-421.

[13] 刘文天, 高军伟. 基于 MSP430 的数据采集系统设计[J]. 工业控制计算机, 2017, 30(8):48-49.

人民邮电出版社出版

基于知识图谱的核电设备知识平台建设

杨强

（江苏核电有限公司，江苏 连云港 222000）

摘　要：对大数据环境下的设备数据集中展示遇到的问题进行了分析，在大数据技术平台的基础上，分析了在全寿命周期环境下的设备知识平台的建设需求，给出了详细的解决方案。通过分析关系数据库和图数据库的差异和适用场景，针对不同的数据源采用不同的数据抽取、转换和加载策略，将数据通过以 Spark Streaming 为依托的数据中间处理层，存放到以 HBase 为代表的分布式数据存储和以 Neo4j 为代表的图数据库中。基于知识图谱技术对设备全寿命周期数据进行整合展示，建立设备实体与各个业务对象实体之间的关系，形成一套完整的设备知识展示平台。在技术上验证了知识图谱技术、图数据库技术、可视化技术等技术的适用性和可行性，取得了较好的应用效果，为以实体为中心的信息展示平台提供了一套可选的参考方案。

关键词：核电；知识图谱；图数据库；分布式存储；实时计算

1　引言

设备是核电企业最核心的资产，是核电企业生产运营的主要依托。保持设备的高度可靠性和可用性对于提升核电厂业绩至关重要。核电厂维修部门的一个工作重心就是对设备开展维护检修，通过纠正性维修和预防性维修等活动保证设备处于正常运作的状态。现场设备检修时，往往需要了解设备各个维度的信息，例如该设备上一次检修的时间、故障原因及处置措施、设备问题的专题分析报告、设备实时参数的趋势曲线、与该设备有过相同缺陷或者被同时处置过的设备状态等，这些信息需要快捷、准确地提供给检修人员和管理人员。

常见的设备数据库往往通过关系数据库管理系统（如 Oracle、MySQL 和 MSSQL 等）进行存储，对设备数据进行调取和查询也通常在这些数据库上进行。在单个核电厂的环境下时，这种解决方法可以支持核电厂的应用。但随着电厂集团化运作带来的数据集中管理的趋势，设备数据的数量、种类和容量都会有海量的增加。这时就会暴露出一些关系数据库始终无法解决的问题，其中最主要的是数据建模中的一些缺陷和问题以及在大数据量和多服务器上进行水平伸缩的限制。此外，随着大数据技术的广泛应用，传感器设备数据、非结构化文档数据等大数据环境下的主要组成数据部分无法通过传统关系型数据模型进行建模和存储。业内逐渐转向通过研究大数据技术来满足海量设备数据在这种应用环境下的需要。可以认为，一个真正成熟、有效的大数据分析环境应该包括关系型数据库和图形数据库。

2　相关概念

图是一种复杂的非线性结构。在线性结构中，数据元素之间满足唯一的线性关系，每个数据元素（除第一个和最后一个外）只有一个直接前趋和一个直接后继。在树形结构中，数据元素之间有着明显的层次关系，并且每个数据元素只与上一层中的一个元素（parent node）及下一层的多个元素（孩子节点）相关。而在图形结构中，节点之间的关系是任意的，图中任意两个数据元素之间都可能相关。图形数据库是 NoSQL 数据库的一种类型，它应用图形理论存储实体之间的关系信息。图形数据库是一种非关系型数据库，它应用图形理论存储实体之间的关系信息，数据模型主要是以节点和关系（边）来体现，也可处理键值对。它的优点是快速解决复杂的关系问题。图包含节点和边；节点上有属性（键值对）；边有名字和方向，并总是有一个开始节点和一个结束节点；边也可以有属性。图数据库的结构如图 1 所示。

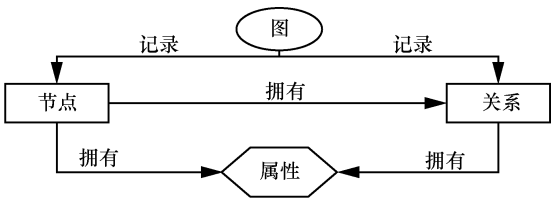


图 1　图数据库的结构

知识图谱是一种数据组织的思维[1-4]，它的思想可以追溯到 20 世纪五六十年代提出的一种知识表示形式——语义网络（semantic network）。语义网络由相互连接的节点和边组成，节点表示概念或者对象，边表示它们之间的关系。在表现形式上，语义网络和知识图谱相似，但语义网络更侧重于描述概念与概念之间的关系，而知识图谱则更偏重于描述实体之间的关联。知识图谱是由一些相互连接的实体和其属性构成的。换句话说，知识图谱是由一条条知识组成的，每条知识表示为一个 SPO（subject-predicate-object，主谓宾）三元组。知识图谱用 RDF（resource description framework，资源描述框架）形式化地表示这种三元关系。RDF 是 W3C（万维网联盟）制定的用于描述实体/资源的标准数据模型。

3 核电企业基于知识图谱的设备知识平台的实施方案

3.1 设备知识平台的总体框架

在总体架构上，试点项目采用分层架构设计，构建一个认设备为重心的知识图谱，数据存储在图数据库中，界面展示知识图谱，并可以根据设备 KKS（电厂标识系统）编码查询所需内容。系统总体设计如图 2 所示。

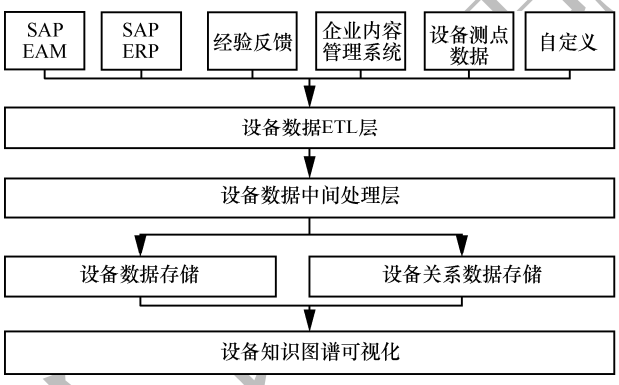


图 2　设备知识平台的总体框架

设备数据源层：核电厂的设备数据分布在不同的源系统中，且数据结构迥异。具体包括 SAP 核心业务系统里面的设备主数据、设备工作申请、设备维修工单、设备检修计划，企业内容管理系统中关于设备的图纸、操作手册、运维手册之类的文件信息，PI 实时数据系统（plant inhrmation system）中的测点信息，经验反馈系统中的状态报告和纠正行动等信息，用户分散在自己电脑中的各类设备资料等。

设备数据 ELT 层：ETL 层主要用来将数据源层中的数据抽取、清洗、转换后传输到设备数据存储和设备关系数据存储中，数据抽取支持不同的数据源系统，数据清洗包括对存在错误的重复数据、关键属性缺失、属性错误等处理。设备数据将自动传递到设备中间处理层。

设备数据中间处理层：数据中间处理层主要对待处理的数据进行在线的逻辑处理，包括接收数据、权限和设备安全控制、调用数据存储接口、调用图数据库的接口、处理用户上传数据等其他各类业务逻辑等。

设备数据存储：设备数据存储主要将各类型的设备数据存储到分布式数据库中，底层采用分布式文件系统来存储文件。设备数据存储通过 API（application programming interface，应用程序编程接口）与上层交互。

设备关系数据存储：设备关系数据图数据库存储各类实体间的关系，在调用明细数据时从设备数据存储中调取。

设备知识图谱可视化：根据参考文献[5-6]，前端用户的搜索输入从关系数据存储中获取设备相关的各类业务实体的关联，并通过前端图形化组件展示知识图谱，在图形化组件上可以通过鼠标事件来触发相应的后台业务逻辑。

3.2 不同数据源的数据抽取方案

设备数据 ETL 主要完成和原有业务系统、数据库的对接，将应用系统中的结构化、非结构化数据通过批量、增量采集方式汇集到中间处理区，以建立索引和关系图谱，并执行计算任务。设备数据抽取组件综合采用各类主流 ETL 工具。

对于 SAP 系列软件或关系型数据库等应用系统，可以通过 Sqoop 或 Kettle 软件将 Oracle、SAP HANA、SAP ECC 等系统环境与目标环境进行连接。对于 PI 系统中的实时测点数据，可以通过自开发组件，以多线程的方式将测点的监测数据发送到 OpenTSDB 这一时序数据库中。对于小型文件（如日志型文件），通过 Flume 抓取到 HDFS（Hadoop distributed file system，Hadoop 分布式文件系统）。对于大文件，可通过 HDFS-over-FTP 等组件从 FTP 上读取文件。对于业务系统中的应用数据，可以实时发送到 Kafka 分布式消息队列中，由 Spark Streaming 流计算组件读取数据，并按相应逻辑走向数据中间处理层。对于 SAP 这种业务系统，往往不能通过底层表抽取的方式，因此，笔

者通过建立相应的业务型 RFC，然后通过 Kettle 调用 RFC 获取数据，并进行抽取、清洗、转换等过程后直接写入 HBase 等数据存储系统中。

3.3 设备数据中间处理层

设备数据中间处理层的主要目的是将清洗后的数据存储到分布式数据库和图数据库中。为保证实时性，先将数据发送到消息系统中，之后，利用 Spark Streaming 实时调用 HBase 的 API 和 Neo4j 的 API 存储到存储系统中。在存储的同时，还需要判断设备数据的安全控制、提供用户数据上载入口，完成各类业务逻辑。

Spark 是一个类似于 MapReduce 的分布式计算框架[7-8]，其核心是弹性分布式数据集，提供比 MapReduce 更丰富的模型，可以快速在内存中对数据集进行多次迭代，以支持复杂的数据挖掘算法和图形计算算法。Spark Streaming 是一种构建在 Spark 上的实时计算框架，它扩展了 Spark 处理大规模流式数据的能力。Spark Streaming 能运行在 100+的节点上，并达到秒级时延；使用基于内存的 Spark 作为执行引擎，具有高效和容错的特性。

3.4 设备数据存储

设备数据存储采用 HBase 来进行，HBase 建立在 Hadoop 文件系统之上[9-10]，它的数据模型类似于谷歌公司的 BigTable，可以快速随机访问海量结构化数据。HBase 利用 HDFS 提供的容错能力，可以直接或通过 HBase 存储 HDFS 数据。HBase 是一个面向列的数据库，在表中它由行排序。表模式定义只能列族，也就是键值对。一个表有多个列族，每个列族可以有任意数量的列。后续列的值连续地存储在磁盘上。表中的每个单元格值都具有时间戳。HBase 的表设计见表 1。

3.5 设备关系数据存储

Neo4j 是目前最流行的图形数据库[11-12]，支持完整的事务。在 Neo4j 中，图是由顶点（vertex）、边（edge）和属性（property）组成的，顶点和边都可以设置属性，顶点也称作节点，边也称作关系，每个节点和关系都可以有一个或多个属性。Neo4j 创建的图是用顶点和边构建一个有向图，其查询语言 Cypher 已经成为事实上的标准。图形数据库适合查询关系数据，由于图形遍历的局部性，不管图形中有多少节点和关系，根据遍历规则，Neo4j 只访问与遍历相关的节点，不受总数据集大小的影响，从而保持期待的性能。相应地，遍历的节点越多，遍历速度越慢，但是速度变慢是线性的，这使得图形数据库不适用于海量数据统计分析。但对于存在大量丰富关系的数据来说，遍历的性能不受图形数据量大小的影响，这使得 Neo4j 成为解决图形问题的理想数据库。

以图 3 为例，中心的节点是设备实体，关联的节点是该设备对应的工作申请、状态报告、检修工单等信息。在点击实体时，能够看到对应节点的具体属性信息。这些属性一般是关系数据中的主要属性。

3.6 设备知识图谱可视化展示

知识图谱的展示往往依赖 SVG（scalable vector graphics，可缩放矢量图形）[13-16]，而对这种图形格式支持最好的就是 D3。D3 是一个基于 Web 标准的 JavaScript 可视化库。D3 可以借助 SVG、Canvas 以及 HTML 将数据生动地展现出来。D3 结合了强大的可视化交互技术以及数据驱动 DOM 的技术，可以借助于现代浏览器的强大功能自由地对数据进行可视化。图谱数据可以通过 Spring Boot 来提供 Rest 服务。

在本项目中，系统提供了设备查询入口，输入 KKS 编码后，能够将设备关联信息通过知识图谱的形式展示出来，同时展示 KKS 编码所关联的实时测点数据信息，下方以 tab 页的形式提供经验反馈数据、工作申请数据、检修记录数据、维修大纲数据、工作票数据、技术文件信息以及由用户自主上传的设备资料等数据。效果如图 4 所示。

4 结束语

江苏核电有限公司在大数据技术平台的基础上，针对全寿命周期设备数据的知识平台的建设需求，利用图数据库和时序数据库，针对不同的数据源采用不同的数据抽取、转换和加载工具，将数据通过数据中间处理层存放到以 HBase 为代表的分布式数据存储和以 Neo4j 为代表的图数据库中。平台基于知识图谱技

表 1 设备数据的 HBase 表设计

行键	列族（经验反馈）	列族（工作申请）	列族（检修工单）	列族（采购数据）
设备编码 1	经验反馈列：值	工作申请列：值	检修工单列：值	采购数据列：值
设备编码 2	经验反馈列：值	工作申请列：值	检修工单列：值	采购数据列：值

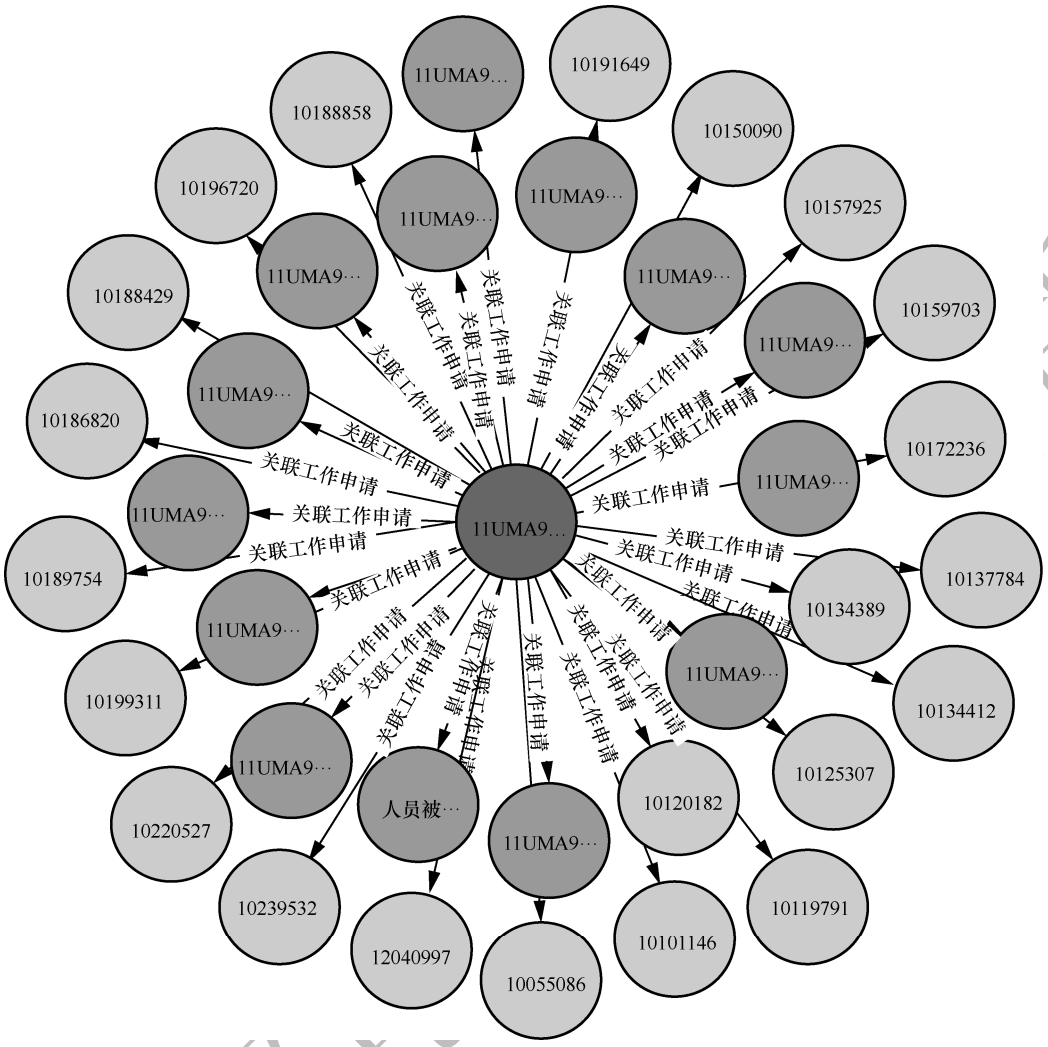


图 3　图数据库中的设备数据

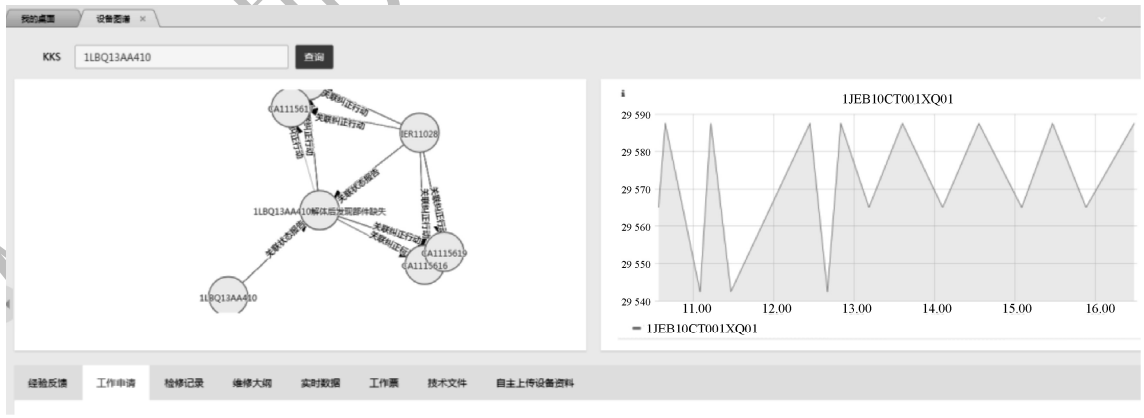


图 4　设备知识平台的效果

术对设备全寿命周期数据进行整合展示，建立各个业务对象实体之间的关系，形成一套完整的设备知识展示平台。在技术上验证了知识图谱技术、图数据库技术、可视化技术等大数据相关技术的适用性和可行性，取得了较好的应用效果。本文也为以实体为中心的信息展示平台提供了一套可选的参考方案。

参考文献：

[1] 胡泽文, 孙建军, 武夷山. 国内知识图谱应用研究综述[J]. 图书情报工作, 2013, 57(3): 131-137, 84.

[2] 焦晓静, 王兰成. 知识图谱的概念辨析与学科定位研究[J]. 图书情报工作, 2015, 59(15): 5-11.

[3] 张德政, 谢永红, 李曼, 等. 基于本体的中医知识图谱构建[J]. 情报工程, 2017, 3(1): 35-42.

[4] 刘峤, 李杨, 段宏, 等. 知识图谱构建技术综述[J]. 计算机研究与发展, 2016, 53(3): 582-600.

[5] 陆晓华, 张宇, 钱进. 基于图数据库的电影知识图谱应用研究[J]. 现代计算机(专业版), 2016(7): 76.

[6] 张仁波. 云计算环境下图计算关键处理技术研究与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2014.

[7] 韩德志, 陈旭光, 雷雨馨, 等. 基于 Spark Streaming 的实时数据分析系统及其应用[J]. 计算机应用, 2017, 37(5): 1263-1269.

[8] 陈晓, 朱志祥, 梁小江. Spark Streaming 写入 HBase 的实现和优化[J]. 物联网技术, 2016, 6(4): 93-95.

[9] 孟祥萍, 周来, 王晖, 等. HBase 在智能电网异构数据同步中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(24): 122-128.

[10] 陆婷, 房俊, 乔彦克. 基于 HBase 的交通流数据实时存储系统[J]. 计算机应用, 2015, 35(1): 103-107, 135.

[11] 肖庆都, 屈亮亮, 侯霞. 基于 Neo4j 图数据库的课程体系知识图谱系统设计与实现[J]. 电脑知识与技术, 2017, 13(36): 130-132.

[12] 廖理. 基于 Neo4j 图数据库的时空数据存储[J]. 信息安全与技术, 2015, 6(8): 43-44, 56.

[13] 王林彬, 黎建辉, 沈志宏. 基于 NoSQL 的 RDF 数据存储与查询技术综述[J]. 计算机应用研究, 2015, 32(5): 1281-1286.

[14] 张运良, 张兆锋, 张晓丹, 等. 使用 D3.js 的知识组织系统 Web 动态交互可视化功能实现[J]. 现代图书情报技术, 2013(Z1): 127-131.

[15] 姚砺, 潘敏男. 基于 D3.js 的公安数据间关联关系可视化研究与应用[J]. 智能计算机与应用, 2018, 8(2): 85-87, 91.

[16] 权鑫. 基于 D3.js 的数据可视化系统框架设计与实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.

人民邮电出版社出版

集中部署 ERP 系统与外围系统集成接口优化研究

崔乃栋，潘磊，冯志鹏，林楠
（国家电网公司信息通信分公司，北京 100761）

摘　要：从多维度对 ERP 集中部署系统上线后集成接口出现的问题进行梳理分析，从集成路线、中间件、集成平台选择、接口同异步改造原则等方面进行了研究分析。通过研究，明确下一步集成接口优化的工作方向和内容，在保证集中部署 ERP 系统高效稳定运行的同时，为第二批单位的推广上线夯实基础。

关键词：SAP PI；ESB；集成路线

1　引言

ERP 集中部署系统与外围 60 余个系统有 2 000 多个接口，集成路线复杂，为了保障集中部署与外围系统数据交互的准确性、及时性和完整性，本文对 ERP 集中部署系统中集成路线、中间件及集成平台中出现的问题进行梳理并展开研究，从多个层面分析 ERP 集中部署第一批推广上线后，集成接口还存在的各种问题进行分析，明确下一步集成接口优化的工作方向和内容，在保证集中部署 ERP 系统高效稳定运行的同时，为第二批单位的推广上线夯实基础。

2　存在的问题

PI（plant information，应用集成平台）与 ESB（enterprise service bus，企业服务总线）作为集中部署 ERP 系统与外围系统据交换的桥梁，在“PI+ESB”技术路线中，PI 的作用是通信协议转换、实时监控、消息映射、数据结构转换、数据分发和服务发布等，ESB 的作用是服务代理，PI 与外围系统通过调用在总部 ESB 注册的服务地址进行数据传输。目前“PI+ESB”的技术路线主要有两种应用场景：一是集中部署 ERP 系统与总部一级部署统横向集成；二是集中部署 ERP 系统与省市公司二级部署系统纵向贯通。集中部署 ERP 系统与外围系统集成架构如图 1 所示。

本文通过对集中部署 ERP 与外围系统集成问题的分析，主要总结出以下两方面不足。

2.1　系统集成通道过长 方案设计待优化

集中部署 ERP 系统采用“PI+ESB”的方式集成，而 PI 和 ESB 功能类似，其集成造成功能重复冗余，增加了中间环节，延长了集成链路，增大问题发生概

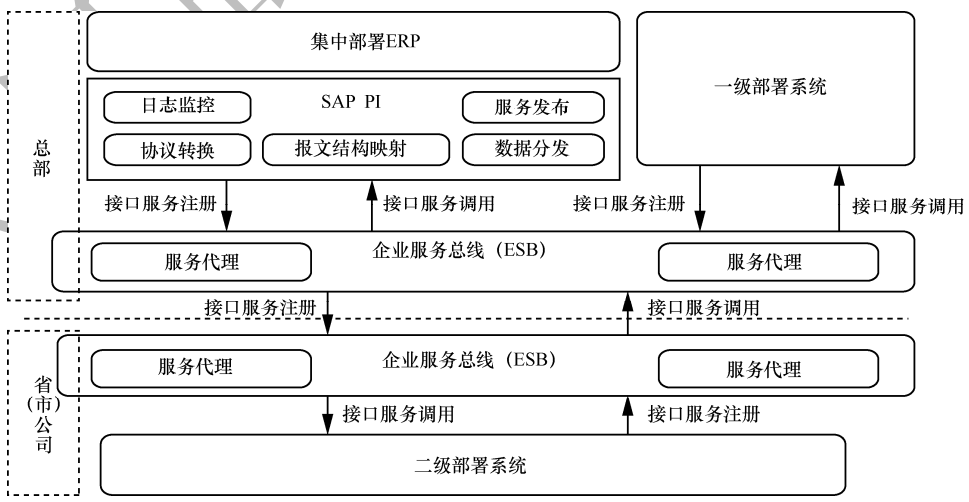


图 1　集中部署 ERP 系统与外围系统集成架构

率，降低消息传输效率。同时，ESB 前端不支持日志可视化监控功能，日志文件存储周期短且数据量大（日志文件存储 7 天数据量可达 15 GB），且日志可读性非常差，这造成运维过程中，对集成问题定位的效率不高。

项目组已经对 PI 进行了分析，并提出了合理化的建议，建议优化集成通道设计。具体工作方案在需求评审之后确定。

在系统监控方面，对生产系统还需要开展有效、持续地系统运行监控，特别是硬件资源使用率、负载情况持续追踪等问题。为完善 ERP 监控体系，项目组计划启用 solution manager 系统监控功能，实现对直连接口、PI 等系统进行实时监控，提高运行问题的解决效率。

2.2 ERP 对端系统集成问题定位困难

ERP 对端系统集成问题按系统可划分为 ERP 系统问题、ERP 对端系统问题以及集成通道问题。ERP 系统采用成熟套装软件，功能相对完善，性能相对稳定，出现的集成问题容易准确定位。对于 ERP 对端系统的问题，目前定位比较困难，原因是部分接口程序的日志记录不完善、日志表冗余，并且缺少统一的接口日志查询工具，导致排查集成问题时效率不高。项目组已经完成了各接口日志表梳理工作，并在支付融合业务接口中开发了一套日志管理工具。该工具已经部署到生产系统，目前正在进行相关功能完善。下一步计划在 ERP 侧的接口中应用推广，形成统一的日志管理工具，便于排查解决系统集成问题。

3 集成接口优化原则

3.1 集成接口优化原则

（1）同步异步适用原则

同步接口属于实时性优先，适用于查询处理，如状态查询、库存查询等对实时性要求高的交互业务。异步接口属于性能优先，适用于业务处理，如订单创建、业务数据校验、业务逻辑处理、数据修改等对实时性要求低的交互业务。对实时性要求高的业务交互优先采用同步模式，对实时性要求低的交互业务则采用异步模式。

（2）批量处理原则

接口的数据推送采用批量处理，特别是在大并发操作时，须采用批量传输，一次推送多条数据。

（3）共用共享原则

针对同一个数据源的接口，如果有数据共享需求，需要通过接口重用的方式在中间件完成多个接收端的分发，避免数据的重复提取、重复计算和重复推送。

（4）易用性原则

对于接口推送数据失败的情况，可以通过统一的后台任务实现自动重发，但需要控制自动重发次数。尽量让用户操作方便，使用简单，减少手工重推的工作，提升集成接口的易用性和用户体验。

3.2 集成路线选择原则

（1）直连方式

直连方式是指集中部署 ERP 和外围业务系统之间集成时，不通过任何一个中间件进行集成的接口。采用直连技术路线的接口易出现数据丢失和接口报错时无接口日志可查或日志可读性差的情况，导致问题无法跟踪排查或问题排查周期过长。目前采用的直连方式有 Web services、HTTP、Dblink 和 RFC 4 种类型。

针对直连接口建议变更为通过 PI 集成，ERP 侧不再进行 XML 的封装和解析，开发的 RFC 接口函数 PI 直接可用，同时接口可以做到实时监控。

（2）接口同异步问题

从系统资源消耗和性能的角度分析，同步接口易消耗资源，在接口调用时，必须要保持会话直至收到返回消息后才会继续执行下一步，而在会话保持期间接口的进程、网络连接、CPU、内存等资源将持续占用直至收到返回消息后释放。而异步接口发送一个接口调用请求，不需要等待返回消息，当接口调用完成后通过另外一个接口将处理结果等通知调用方。

从业务的实时性角度分析，因为同步接口相对于异步接口会占用较多的系统资源，对实时性要求不高的数据传输接口选用异步模式，只有实时性要求较高的接口才考虑使用同步接口。

从业务类型的角度分析，同步接口适用于查询处理，如订单、库存查询，状态查询，消息通知等业务功能。异步接口适用于业务处理，如订单创建、业务数据修改等业务功能。

针对接口同异步问题，建议对于业务实时性要求不高的同步接口改为异步接口。也可以通过接口数据同步返回，业务上异步处理的方式完成对同步接口的优化改造。

人民邮电出版社出版

4 结束语

本文通过对集中部署 ERP 集成接口的研究，分析整理除了技术路线问题、中间件及集成平台问题、接口同步异步不合理问题、接口数据质量问题、在 ERP 侧进行大量逻辑运算类接口问题、数据共享及数据重复推送类问题、接口功能设计不合理问题和 BW 抽数不合理等问题。针对当前与集中部署 ERP 集成的外围系统数量多、集成关系复杂、集成技术路线多样，通过研究分析，结合实际，总结经验，明确应用集成与数据集成的相关规范。在集成接口设计时，应充分考虑集中部署 ERP 系统的特点，确保集成方案的合理性，集中部署项目组会加强同各方的协作配合，切实从设计开发的源头上把控工作质量，完善监控手段，继续深入推进集成接口优化工作，提升用户体验，保证 ERP 集中部署系统的高效稳定运行。

人民邮电出版社出版

开源软件安全检测关键技术

靳鑫，杜林
（安徽继远检验检测技术有限公司，安徽 合肥 231200）

摘　要：随着计算机技术的不断发展，开源软件在软件研发方面得到了十分广泛的使用。然而，开源软件中存在大量的安全隐患，急需通过检测手段发现并控制这一类风险。为了有效地实现开源软件的安全检测，需要重点研究两个方面的关键技术。在已有技术成果的基础上，对开源软件安全检测技术的关键技术进行了论述，主要包括基于机器学习的开源代码片段分析技术和基于二进制代码分析的开源软件安全检测技术。针对这两种关键技术方案的研究，为开源软件安全检测系统的实现打好了坚实的基础。

关键词：开源软件；安全检测；机器学习；代码克隆；二进制分析

1　引言

随着互联网技术的兴起，开源软件已逐步成为主流。近些年，著名开源项目的范围涵盖移动操作系统 Android、数据库软件 MySQL、大数据计算平台 Spark、深度学习框架 TensorFlow 等。在当代的软件开发过程中，工程师们越来越多地选择使用开源软件来减少重复的工作。然而开源代码滥用会带来大量代码缺陷和安全漏洞，导致代码质量和性能大幅下降。目前我国对开源项目的风险识别意识也已初步形成，但在实际管控体系、检测手段等方面有待进一步提高，且尚未形成成熟的开源安全类产品。

国外虽然已经开展了开源软件安全技术的研究，但国外的相关技术方案也仅支持在有源码情况下的检测服务，由于开源软件自身的应用特点，大量的开源组件仍然属于“部分开源”状态，针对这种组件的检测未进行相关研究。开源软件的应用面很广，而在软件开发和运行过程中，可能随时引入新的“开源成分”，很多研发环境都是内网，很难实现特征库的及时更新，因此很难保证较高的检测成功率。结合当前开源软件安全研究的不足，需要重点研究两个方面：基于机器学习的开源代码片段分析技术、基于二进制代码分析的开源软件安全检测技术，并提出相关技术方案。通过对开源软件安全检测技术进行研究，不但给解决当前开源软件安全管控存在的问题指出了方向，而且为后续的检验检测工具的研发也提供了思路，针对电力信息系统外的信息系统也有一定的应用价值，以此为基础可形成针对开源软件安全检测的产品，未来可形成可观收益。

本文研究开源代码片段分析技术，通过提取开源代码片段特征，运用机器学习技术实现对开源代码的快速识别，同时结合恶意代码分析技术实现代码的安全分析；基于二进制代码分析的开源软件安全检测技术，通过提取二进制代码多维度特征，结合分布式安全检测技术，实现对二进制开源代码的安全检测。结合这两个技术方案，形成开源软件安全检测技术方案，为进一步的系统设计提供技术支撑。技术路线如图 1 所示。

2　基于机器学习技术的开源代码片段

为了实现基于机器学习技术的开源代码片段分析技术，首先要对开源代码进行片段特征提取，建立开源代码片段特征库，并基于特征库建立分布式索引库。通过机器学习算法对源代码成分分析模块进行训练，提高源代码成分分析模块的速度和准确度。本技术的技术方案如图 2 所示。

基于机器学习技术的开源代码片段分析技术主要由词法分析器、代码片段特征提取模块、Spark 计算平台、机器学习引擎、开源代码片段特征库、开源代码分布式索引库和源代码成分分析模块组成。源代码经过词法分析器处理后，形成预处理文件，然后利用代码片段特征提取模块对原始代码文件和预处理文件进行代码片段特征提取，建立开源代码片段特征库。

人民邮电出版社出版

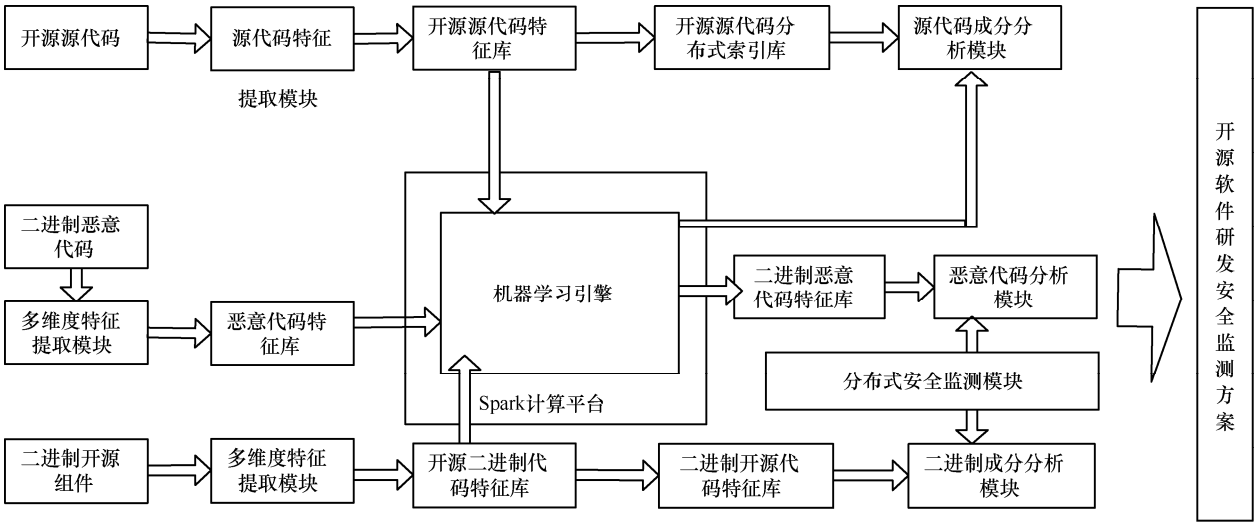


图 1　开源软件安全检测技术路线

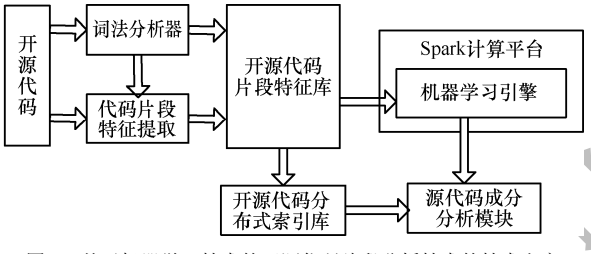


图 2　基于机器学习技术的开源代码片段分析技术的技术方案

基于开源代码片段特征库建立开源代码分布式索引库，最后利用源代码成分分析模块进行成分分析。主要技术模块的技术方案如下。

（1）利用词法分析器的预处理

词法分析器对代码的无关部分进行去噪操作，过滤注释、头文件、多余的无意义字符，获得标准化的词法单元（token）之后，再进一步获取固定长度的索引单元（chunk），实现源代码的预处理。

本项目中的词法分析器主要过滤的词法单元有以下 5 种。

- 注释：包括一行、多行注释以及 doc 注释。
- 预处理命令：如 import、include、package、define 等。
- 可见度修饰符：如 static、public、private 等。
- 命名空间限定符：如 global 等。
- this 调用。

另外，词法分析器还对源代码中所有的标识符、类型、常量进行统一编号，处理规则如下。

- 标识符采用 id+编号来替换，编号由 0 递增，如果前面已经出现过，则采用第一次的编号。
- 字符串统一替换为“”空串。
- 数据类型为整形变换为 0。
- 数据类型为浮点形变换为 00.0。
- 布尔值变换为 true。

如图 3 所示，词法分析器针对每个输入的词法单元，按照上述 5 条规则以及 5 个 token 过滤标准，得到最终的标准化 token 集合。其中，函数名 getTest 也会作为标识符，被转化为 id+编号的形式；而小括号都会被忽略。

（2）代码片段特征提取

源代码经过词法分析器处理后，形成新的预处理代码。通过对原始代码和预处理代码进行特征提取，即可建立代码片段特征库。以预处理后代码为例，代码片段特征的提取步骤如下：

步骤 1　预处理代码中的 token，按照固定数目进行结合，形成一个代码片段；

步骤 2　对该代码片段进行 Hash 值计算，即得到了该代码片段的特征；

步骤 3　偏移固定的 token 数目，安全固定书面进行结合，形成一个新的代码片段，并计算新片段的 Hash 值；

步骤 4　重复步骤 2 和步骤 3，直至文件结束。

（3）建立分布式索引库

索引单元里面不含源代码的文本信息，含有代码片段的特征值、token 数量等信息。其结构见表 1。

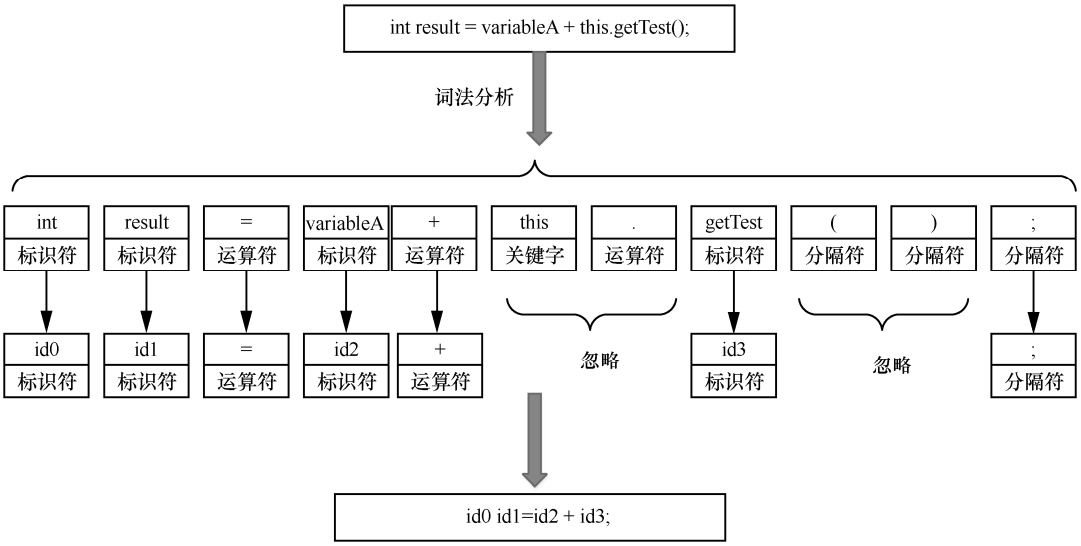


图 3　词法分析器预处理过程

表 1　基本索引单元

属性	说明
chunkHash	该段代码文本的 MD5 Hash 值
elementUnits	索引单元中包含的词法 token 数目
firstRawLineNumber	对应源文件的开始行号
firstUnitIndex	所含 token 中，第一个 token 的编号
lastRawLineNumber	对应源代码文件的结束行号
originId	该索引胆原所在的文件唯一路径
rawEndOffset	对源代码文件中结束行中的偏移量
rawStartOffset	对应源代码文件中开始行中的偏移量

索引库采用分布式数据库 HBase，因为 HBase 的数据是按列存储的。当存储索引数据 Chunk 时，特定列由 originId 加上#firstUnitIndex 唯一标识。例如，elementUnits 列是散列值为 hashA 的块，存储在具有 hashA 的行中，其 elementUnits 列的列键是 elementUnits：originId＃firstUnitIndex，存储的值或 elementUnits 的值。图 4 显示了创建索引库的完整过程。

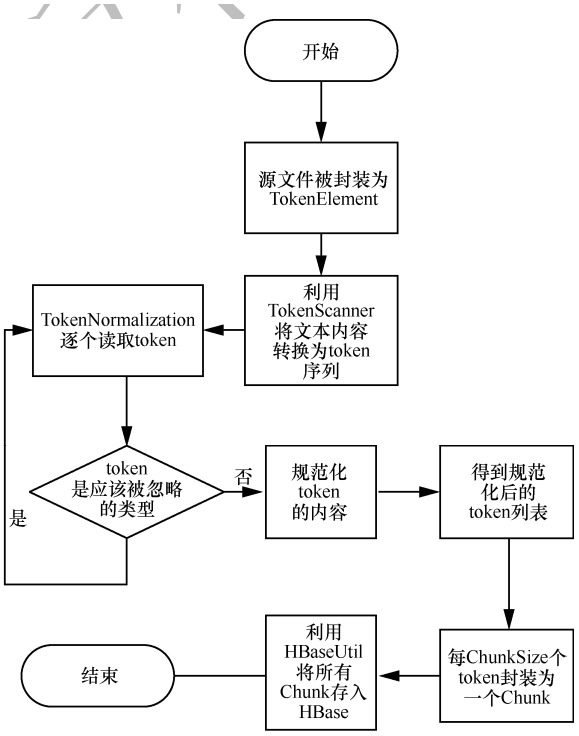


图 4　建立索引库完整流程

（4）建立基于 Spark 的机器学习应用框架

本项目建立了基于 Spark 的机器学习应用框架，通过对框架接口的调用，实现了高效的代码片段分析技术。该机器学习应用框架的原理如下。

- 相关机器学习任务是通过调用接口进行访问实现的。
- 根据获得的参数和接口情况，向算法优化器提交任务，实现算法优化。同时将从代码特征库中加载到特征数据，并将相关数据提交到算法优化器，由算法优化器进行处理。
- 机器学习算法将指导算法优化器完成算法的预处理优化。

- 数据处理完成后，算法优化器开始优化工作，主要的工作内容包括：数据提取、向框架提交优化子任务、将子任务信息注册添加到信息统计器中。
- 框架将各个任务分配至不同的计算节点，开始优化工作。
- 最后优化器将所有节点完成的结果进行有效整合，最终得到的机器学习模型。

基于 Spark 的机器学习应用框架如图 5 所示。

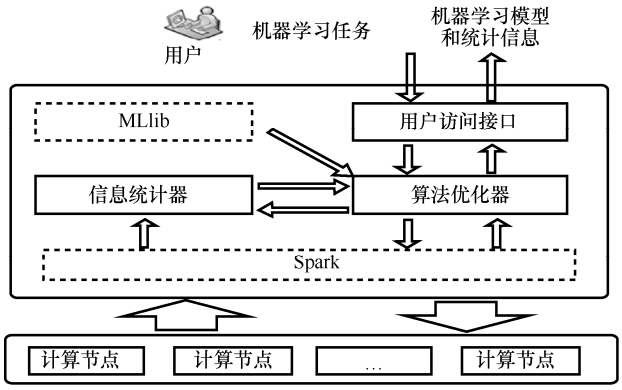


图 5　基于 Spark 的机器学习应用框架

（5）利用代码片段特征实现开源软件成分分析

通过建立的分布式索引和机器学习模型，实现基于代码特征的开源软件成分分析模块。主要过程如下：

- 构建待检测源代码索引，利用索引到 HBase 中进行检索；
- 利用检索生成的二维邻接表结构，按照待检测的代码的索引序列作为行头，每行存储与行头元素相同的散列值作为索引数据，每行的元素按照文件路径进行排序，行头则根据待检测文件中的索引号排序；
- 通过索引与开源软件分布式索引库，分析识别开源软件成分；
- 结合恶意代码特征库和分析技术，实现开源成分安全的识别。

3　基于二进制分析的开源软件安全检测技术

为了实现对二进制代码的安全检测，及时发现二进制开源代码中的漏洞和恶意代码成分，需要先对二进制代码进行多维度特征提取，建立二进制开源软件特征库和恶意代码特征库；然后利用机器学习技术，实现对二进制开源成分和恶意代码的分析识别；在此基础上，进一步设计实现分布式安全检测技术，最终实现基于二进制分析的开源软件安全检测技术。技术方案如图 6 所示。

3.1　提取二进制代码多维度特征，建立二进制代码特征库

针对二进制开源代码，本项目主要提取二进制代码的静态特征，包括文件属性的属性、文件结构层的二进制结构特征、字节层的字节序列特征、指令层的指令序列特征、语义层的关键 API（application programming interface，应用程序编程接口）调用序列特征以及特征提取。过程如图 7 所示。

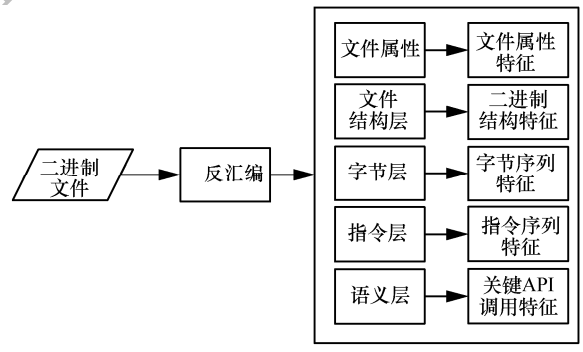


图 7　二进制多维度特征提取

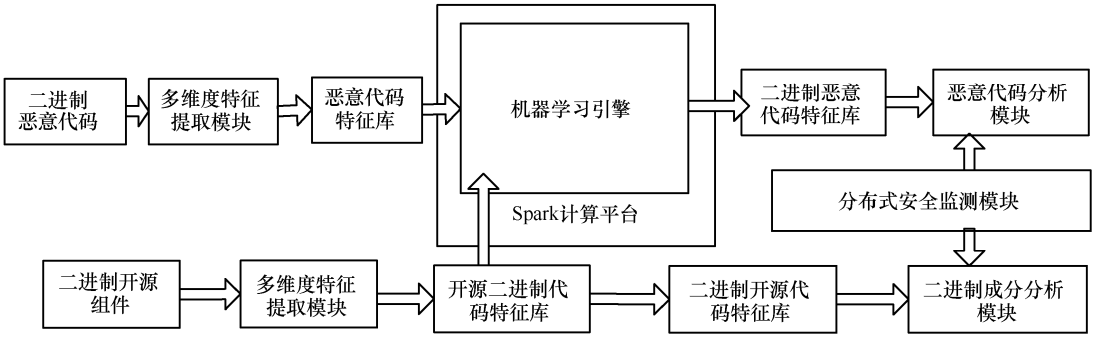


图 6　基于二进制分析的开源软件安全检测技术方案

（1）提取文件属性特征

二进制文件的文本可以用来在开源或二进制组件中进行初步的识别，直接识别二进制组件的版本，可以根据其属性涉及的特性来指以文件名、容量、基本属性（如以安全风险分析初步特点）为代表的散列值，结合以下特点，进一步对二进制代码进行多维特征分析、识别安全风险，如恶意代码。

（2）提取文件结构层的特征

文件结构层的结构与文件的静态结构信息有关。恶意代码通常会修改二进制文件的结构，以实现其重定位、文件搜索、感染和破坏等功能，目的在于查杀结构，并防止杀毒软件将修改入口点转为非恶意行为、标准件、修改件名称、修改导入表等。这些结构特征与普通文件不同，因此二进制文件的结构可以作为二进制文件的特征之一。

（3）提取字节层特征

字节层特征提取方便，但其最大的缺点是容易造成代码混淆，字节层特征仍然可以代表二进制编码特征的维度。字节层的特点是首先将 Hexview 等相应工具转换为十六进制序列，然后用 *n*-gram 窗口获取特征，并使用 *n*-gram 窗口滑动特征提取。

（4）提取指令层特征

在获得操作码序列之后，使用 *n* 元组来获得期望的特征集。具体步骤如下：首先对样本进行分解，然后从反汇编结果中提取常用指令，形成初始特征集。最后，*n*-gram 滑动窗口技术得到最终的期望特征集，*n* 取 2 或 3。

（5）提取语义层特征

通常，语义信息可以由 API 函数调用信息表示。一个或多个 API 函数序列表示相关的操作或行为。因此，就字节或指令序列而言，语义层的特点具有良好的对抗性。语义特征的提取如下：

- 建立一个关键的系统调用库，它包含了公共关键系统调用 API 函数；
- 根据反汇编的结果构建关键系统调用关系流程图；
- 使用深度优先遍历算法遍历调用流程图，得到关键系统调用的调用顺序。

利用 *n*-gram 窗口滑动调用序列获取所需特征，如图 8 所示。

通过对二进制开源软件和二进制恶意代码进行多维度特征提取，建立二进制开源软件特征库和二进制恶意代码特征库。

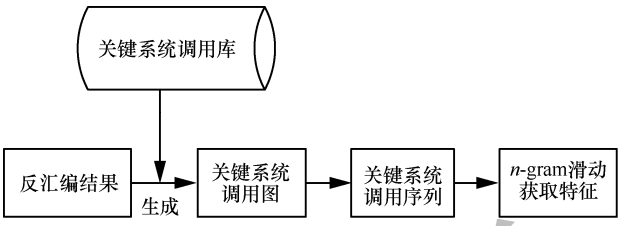


图 8　语义特征提取方法

3.2　识别二进制文件中的开源成分

二进制文件中的开源代码成分的识别基于二进制开源软件特征库，通过对被检测二进制文件进行多维度特征提取和匹配，实现二进制文件中的开源成分识别。本项目通过如下方案实现二进制文件中的开源成分识别。

（1）基于基本块代码序列的特征匹配方案

通过使用生物 DNA 序列相似度矩阵映射方法和评分矩阵法和思路，利用二维阵列点矩阵进行项目开发模拟，实现编译后的可执行二进制码序列相似性度量。对需要比较的二进制汇编代码序列提取汇编指令操作符，分别表示为：

$$\text{sequenceA}=\{A_1,A_2,A_3,\cdots,A_i,\cdots,A_{\text{lengthA}}\} \quad (1)$$

$$\text{sequenceB}=\{B_1,B_2,B_3,\cdots,B_i,\cdots,B_{\text{lengthB}}\} \quad (2)$$

滑动窗口值设为 *H*，打分规则为：

$$P\{A_i,B_i\}=\begin{cases}1, A_i=B_i\\ 0, A_i\neq B_i\end{cases} \quad (3)$$

sequenceA 和 sequenceB 比对得出打分矩阵 ScoreMatrix，扫描 ScoreMatrix 得到打分矩阵非重叠平行斜线的最长组合的序列长度：

$$M[m]=\sum_{i+m=j}\text{ScoreMatrix}_{ij}, m\in[0,\text{lengthA}-1], \quad (4)$$
$$0\leqslant i<\text{lengthA}, 0\leqslant j<\text{lengthB}$$

$$N[n]=\sum_{i=j+n}\text{ScoreMatrix}_{ij}, m\in[0,\text{lengthA}-1], \quad (5)$$
$$0\leqslant i<\text{lengthA}, 0\leqslant j<\text{lengthB}$$

sequenceA 和 sequenceB 中出现的相同序列长度为 SC。该矩阵算法能检测出连续相同指令序列，并且能有效消除指令重排的影响，准确地得出两个指令序列的相似度。

（2）基于基本块子函数名特征的特征匹配方案

在二进制代码中，调用指令通常会泄漏一定的字符串，其中一些是由代码作者命名的，一些是系统提供的 API 函数的名称。通过编译链接在同一位置调用的系统

人民邮电出版社出版

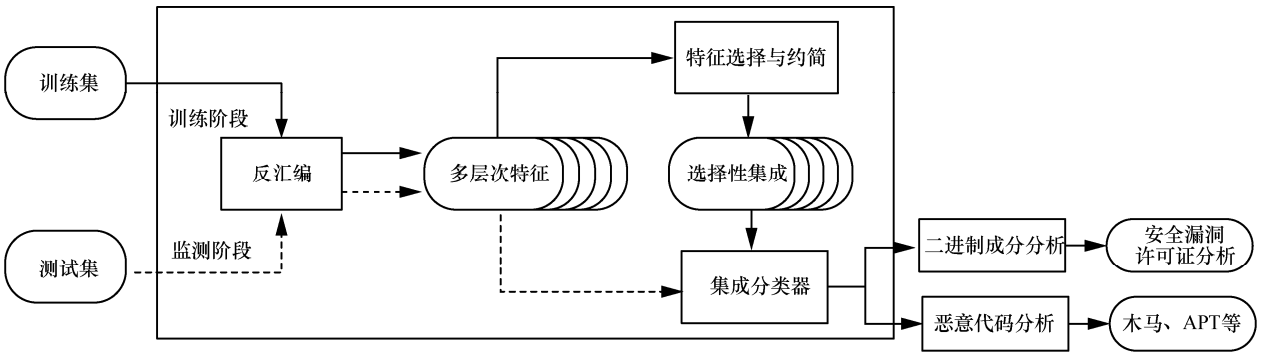


图 9　基于机器学习的二进制安全风险分析

函数是相同的。该项目从调用指令的操作数中提取有效的子功能名称作为另一个重要的匹配功能。这个算法的原理是计算两个字符串之间相同的两个字符串。每个步骤用于修改、添加或删除一个字符。 这个最小的步骤是编辑距离 ED。

一个基本块和基本块 B，分别扫描 A 和 B 基本块所有调用指令，提取出调用指令操作数是 A 的子程序名，过滤掉一个数为 8 的函数十六进制，得到 StrA 和 StrB 两个字符串，并且 $m>n$。

$$\mathrm{StrA}=(m,\mathrm{StrA}_1,\mathrm{StrA}_2,\cdots,\mathrm{StrA}_m) \tag{6}$$

$$\mathrm{StrB}=(n,\mathrm{StrB}_1,\mathrm{StrB}_2,\cdots,\mathrm{StrB}_n) \tag{7}$$

两个字符串集的相似度为：

$$F_{\mathrm{Similarity}}(\mathrm{StrA},\mathrm{StrB})=\frac{\sum_{j=1}^{n}\left(1-\frac{\mathrm{Min}(\mathrm{ED}(\mathrm{StrA}_i,\mathrm{StrB}_j))}{\mathrm{MaxLengthOf}(\mathrm{StrA}_i,\mathrm{StrB}_j)}\right)}{\mathrm{Min}(m,n)} \tag{8}$$

（3）基于二进制代码常量特征的特征匹配方案

代码中的常量可分为字符串常量和数字常量。二进制代码中的常量特征与硬件平台和编译器无关。因此，可以通过提取二进制代码中的常量特征实现与硬件平台和编译器无关的特征匹配方法。通过提取二进制开源软件中的常量特征，建立开源软件特征库。然后，使用基于倒排索引的特征匹配方法，实现二进制代码中的开源成分分析。

3.3　分析二进制文件安全风险

本项目通过如下手段二进制代码中的安全风险进行分析。

通过匹配二进制代码的多维度特征，分析得到被检测的二进制代码中的开源软件成分及版本，通过全球级开源软件信息知识库，得到该版本开源软件的安全漏洞风险情况，从而实现安全风险分析。

基于全球级开源软件风险特征库中的恶意代码特征，利用机器学习进行学习训练，得到二进制文件安全风险分析模型和规则库，通过该模型和规则库，实现对二进制文件的安全风险分析。

原理结构如图 9 所示。

3.4　设计分布式安全检测方案，实现开源软件安全检测

为了对二进制开源软件进行安全检测，本项目对开源软件安全检测进行任务分解，按照任务分解后的功能要求，设计多种功能角色的 Agent 部署在安全检测目标系统中。主要设计检测 Agent、数据传输 Agent、特征提取 Agent 和决策 Agent。检测 Agent 用于检测目标系统中被检测的二进制文件的状态。数据传输 Agent 用于对需传输的数据进行压缩、分包发送到指定目标。特征提取 Agent 用于提取二进制文件的部分简单特征，对于复杂特征的提取，需要通过数据传输 Agent 将二进制文件进行压缩分包传输到专门的计算集群中进行计算和分析。决策 Agent 根据其他 Agent 的状态和输出，对其他 Agent 的工作状态进行管理，同时具有对二进制文件的安全风险做出分析决策的能力。二进制文件安全检测 Agent 功能模型如图 10 所示。

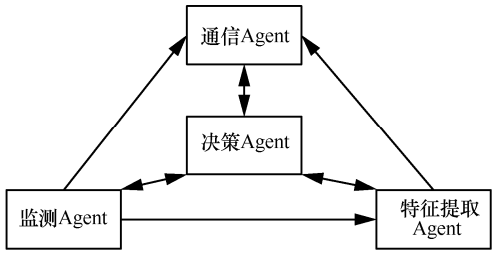


图 10　二进制文件安全检测 Agent 功能模型

检测 Agent 是二进制安全检测的数据来源，是 Agent 感知能力的基本体现。其主要结构如图 11 所示。

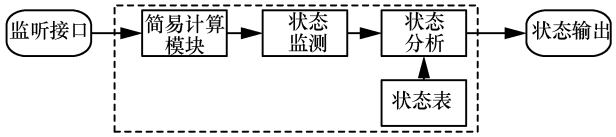


图 11　检测 Agent 结构

数据传输 Agent 主要用于在必要时将检测文件传输到指定目标中，如安全检测服务器集群。其主要结构如图 12 所示。

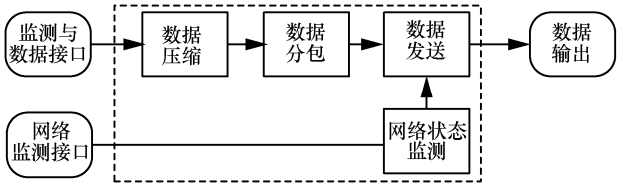


图 12　数据传输 Agent 结构

特征提取 Agent 主要对目标二进制代码进行多维度特征提取。由于不同的目标系统计算能力差异很大，为了简化部署在目标系统的特征提取 Agent 的设计，特征提取 Agent 只进行一些简单的特征提取，如文件属性特征等。其结构如图 13 所示。

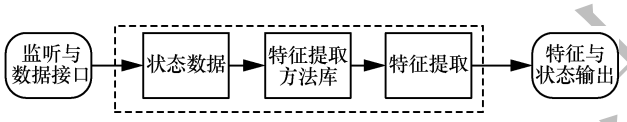


图 13　特征提取 Agent 结构

部署于检测目标系统的决策 Agent 可以对检测 Agent、数据传输 Agent、特征提取 Agent 的工作状态进行管理，并根据各个 Agent 的状态和数据输出，对二进制文件的安全性做出决策。其结构如图 14 所示。

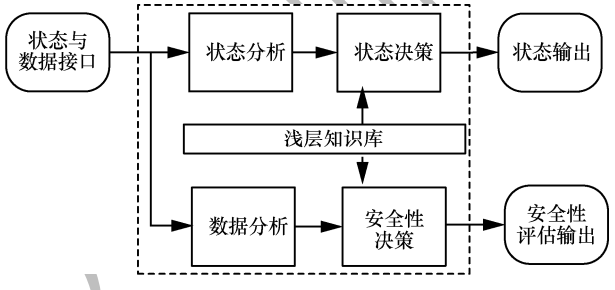


图 14　决策 Agent 结构

结合两种技术成果和基于 Multi-Agent 的二进制代码多维度特征的分布式数据采集与检测技术，在开源软件信息知识库和风险特征库的数据支持下，通过提取和匹配被检测的二进制代码的多维度特征和风险特征扫描，实现二进制代码中的开源软件成分识别和漏洞分析以及被检测二进制代码的其他安全风险情况，如是否被植入恶意代码、木马、APT（advanced persistent threat，高级持续性威胁）等安全风险，对出现的安全风险进行警告，并提供相应的修复建议。最终实现基于二进制代码分析的开源软件安全检测技术。

4　结束语

本文在已有技术成果的基础上对于开源软件安全检测技术的关键技术进行了论述，主要包括基于机器学习的开源代码片段分析技术和基于二进制代码分析的开源软件安全检测技术。从两种技术的关系上来说，开源代码片段分析技术为开源软件安全检测技术提供了有力支撑，保证了开源成分分析的有效性。开源代码片段分析技术主要是利用代码克隆分析技术以及机器学习分析引擎实现对代码片段成分的准确分析；基于二进制代码分析的开源软件安全检测技术则是有效利用了数据平台技术、恶意代码识别技术、二进制特征匹配以及代码片段分析的结果，实现了二进制代码和有源软件风险的识别。针对这两种关键技术方案的研究，为开源软件安全检测系统的实现打好了坚实的基础。

尽管通过本文的研究已经完成了既定的论证目标，但是依然存在着一些不足之处。首先因为本文研究的内容属于安全检测类的研究内容，所以涉及的技术内容很广，通过本文难以全面阐述清楚。其次，由于时间关系和技术研发本身所需的时间，本文涉及的技术方案在检测效果上可能还有缺陷，还需要进一步优化，具体的成果还需要通过大量的工作来实现。

参考文献：

[1] 金芝, 周明辉, 张宇霞. 开源软件与开源软件生态:现状与趋势[J]. 科技导报, 2016(14): 42-48.
[2] 林婵, 李俊杰, 饶飞, 等. 基于索引的分布式代码克隆检测[J]. 信息安全研究, 2016(3): 201-210.
[3] 舒翔. 基于索引和序列匹配的代码克隆检测技术研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2015.
[4] 叶青青. 软件源代码中的代码克隆现象及其检测方法[J]. 计算机应用与软件, 2008(9): 147-149, 159.
[5] 黎文阳. 大数据处理模型 Apache Spark 研究[J]. 现代计算机(专业版), 2015(8): 55-60.
[6] 胡俊, 胡贤德, 程家兴. 基于 Spark 的大数据混合计算模型[J]. 计算机系统应用, 2015(4): 214-218.
[7] 温馨, 罗侃, 陈荣国. 基于 Shark/Spark 的分布式空间数据分析框架[J]. 地球信息科学学报, 2015(4): 401-407.
[8] 宋喆, 初广丽. 基于 Multi-Agent 的个性化信息检索模型结构体系[J]. 图书馆学研究, 2011(3): 62-66.

[9] 徐小龙, 程春玲, 熊婧夷. 基于 multi-agent 的云端计算融合模型的研究[J]. 通信学报, 2010(10): 203-211.
[10] 陈锦富, 赵小磊, 刘一松, 等. 基于数据挖掘的第三方构件安全性测试模型及其框架[J]. 计算机学报, 2017(1): 1-16.
[11] 陈良. 恶意代码检测中若干关键技术研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2012.
[12] 唐振坤. 基于 Spark 的机器学习平台设计与实现[D]. 厦门: 厦门大学, 2014.
[13] 敬锐. 恶意代码检测系统的研究与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2010.
[14] 孙科. 基于 Spark 的机器学习应用框架研究与实现[D]. 上海: 上海交通大学, 2015.
[15] 邱景. 面向软件安全的二进制代码逆向分析关键技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
[16] 马金鑫, 李舟军, 忽朝俭, 等. 一种重构二进制代码中类型抽象的方法[J]. 计算机研究与发展, 2013(11): 2418-2428.
[17] 李舟军, 张俊贤, 廖湘科, 等. 软件安全漏洞检测技术[J]. 计算机学报, 2015(4): 717-732.
[18] 李朝君. 二进制代码安全性分析[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2010.
[19] 颜颖, 方勇, 刘亮, 等. 基于基本块指纹的二进制代码同源性分析[J]. 网络安全技术与应用, 2017(3): 67-69.

人民邮电出版社出版

可穿戴设备在电力企业信息安全中的应用

卢科帆

（国网浙江杭州市余杭区供电有限公司，浙江 杭州 311100）

摘　要：随着物联网、云计算、大数据等技术的兴起，可穿戴设备作为一种新的技术手段开始应用到电力企业的信息安全中。通过对电力企业信息安全需求进行系统的论述，将需求进行了详细的分类，包括一般需求和特殊需求。在对可穿戴设备进行研究概述的基础上，最终提出了基于可穿戴设备的电力企业信息安全的具体应用。希望能为该领域的相关研究提供思考，进而丰富该研究的理论体系。

关键词：可穿戴设备；电力企业；信息安全

1　引言

一直以来，国家对电力企业安全十分重视，安全问题已经成为电力企业追求的永恒主题，尽管电力企业在近年来的安全事故略有减少，但是其面临的形势依然非常严峻，情况不容乐观。从近年来的电力安全事故中可以看出，目前的伤亡事故原因有很多，主要原因是一线人员的安全意识淡薄、掌握的技能水平不熟练、违规作业的情况较多。随着信息技术的快速发展，尽管已经出现了很多先进的仪器和设备（如绝缘类和防护类的装置），但是这些装置在现实的工作中仍然不能满足员工的技术需求，仍然存在着一些安全隐患。因此利用现代的科学技术，加强主动防御型技术的研究和开发就显得尤为重要[1]。

2　可穿戴设备概述

最早的可穿戴设备可追溯到便携式的计算器时代，最著名的是以腕表的形式集成计算器的功能，通过腕表可以快速、简单地处理一些数学运算。随着信息技术的进步，越来越多的计算功能被集成在可穿戴设备上，可穿戴设备已经不仅仅是穿戴式设备，还包括可穿戴的形式、具有独立的计算功能，具有专业的功能和终端程序。

可穿戴设备又称可穿戴计算设备，截至目前，学者们并没有给出一个明确的定义。美国麻省理工学院针对可穿戴设备给出了这样的定义：可穿戴设备是电脑结合多媒体和无线传播以不凸显异物感的输入或输出的仪器（如智能手表、智能手环以及智能衣服和智能眼镜等）进行连接个人局域网络功能，探求特定情境下的私人智慧助手。可穿戴设备已经成为使用者在行动工作中进行信息处理的工具和统计信息的工具[2]。

3　电力企业信息安全的需求

3.1　普遍要求

电力企业的工作主要是一线人员开展的，通过设备辅助记录人员所需的信息进行指导作业，解决员工在信息采集、处理、传输、分析以及反馈等技术方面的问题，从而解决电力企业实际操作不便的难题。

普遍需求是指从输电、配电和变电等一系列的操作中存在的基本的要求，主要包括人员办公的信息化操作、人员在现场操作的实际样图，包括人员在现场的录音、录像、人员在现场拍摄的图片等。通过技术手段对人员进行跟踪和定位，远程遥控现场的作业情况，通过技术手段对现场进行资料收集和处理、远程进行会议的讨论与沟通，现场请求人员进行辅助监工与帮助。对现场的仓库进行查找、处理和备案；对电力企业的各种报表进行数据的汇总与处理，对现场作业进行搜集与整理，对作业人员的生命体态进行时时监测，对设备进行检修和查看等。

3.2　特殊要求

3.2.1　变电作业的特殊要求

电力企业的特殊需求主要体现在电力企业的人员要有专业的要求，也就是说，从事电力企业的员工必须持证上岗且要懂得专业的电力相关知识，尤其是运用一些精密的仪器进行审核和监控，如运用仪器测试温度、对电表进行识别、对电表的指示灯进行检查和

人民邮电出版社出版

识别、对电力企业的设备进行监督和控制，针对一些高精尖的设备仪器要进行动态的跟踪和监视、要对员工进行培训，对临时出现的问题进行详细的检查和处理，对于噪音进行识别等。

3.2.2 输电作业的特殊要求

输电现场的作业要求主要有：对电池的供电能力进行持续的监测和管控，对电池的容量进行深层次的研究和开发，增加电池的巡航使用寿命，延长电池的使用时间，在输电作业中，在条件恶劣的野外环境下保证通信功能的畅通无阻，使现场人员能够顺利地在野外工作，从而使电力企业的现场通信成为可能。电力企业的设备在工作的状态下，应当具有防水抗潮的功效，保证在雨天可以正常工作。延长电力企业硬件设备的使用期限，并且保障设备在运转的过程中防尘抗污，且当面临地震时，具有减灾抗震的功效。通过应用技术设备能够保证远距离进行红外的监控，时时反馈动态信息，运用红外线对电线的温度进行监测，防止因为温度过高出现电线短路的情况。为了保证电力操作人员的安全，时刻注意输电线路与人员之间的安全间隔，保证人员在合理、可操作的范围内进行施工和作业[3]。

3.2.3 配电作业要求

配电作业人员在巡检的过程中的要求有以下几点。为了便于抢修人员第一时间到达配电现场，需要对配电抢修室进行跟踪、定位于监测，当出现问题时，可以第一时间通知抢修人员赶往现场进行对电力工程的处理与维护。通过技术手段的应用，电力人员能够依据手机等设备，随时查找维修站点的所在位置，便于缩短抢修时间。当出现问题时，保证抢修人员能够根据电话进行顺利的沟通与交流，避免因电力系统的中断，导致人员不能进行通信和及时的反馈。在巡检中，电力人员要对温度进行动态监控，利用红外、微波等高科技技术手段对温度进行探测和监控，保证电力工作的顺利开展。在电力系统中，为了保证工作的顺利开展，巡检人员要提高自身的专业知识，培养专业的信息素养，对于出现的问题能够进行快速的反应，并进行正确的判断，对于电力企业的中的表计要学会识别和应用，从而提升人员的整体核心竞争力和整体危机意识[4]。

4 可穿戴设备在电力企业信息安全中的应用

当电力工作者的健康状况出现问题、人员带点工作、误入带电间隔、带电设备的距离小于安全间隔时，可穿戴设备会根据情况进行及时预警，不仅能在第一时间制止灾害性情况的发生，同时还能对带电作业的人员进行监控，可以对现场的情况进行音频和视频的控制，对有缺陷的设备进行摄像或者拍照处理。当出现一些复杂问题时，可以通过专家远程勘测的方式对现场的情况给予积极的指导。电力工作者常常处于高压作业的环境，可穿戴设备的应用能够有效地避免危险事件的发生，当出现触电、坠落等情况时，可穿戴设备可以第一时间对现场的随行人员发出报警信息，当人员接收到报警信号时，可以通过可穿戴设备的电子地图查看人员工作的位置信息，及时赶到事发现场进行处理。

4.1 智能安全帽

传统的安全帽只能起到简单的保护头部的作用，智能安全帽是指在安全帽的顶端安装无线网络装置，该装置类似于手机的上网装置模块，可以实现人员的现场跟踪和定位，无线装置可以接收紫外线信号，对温度进行探测，还可以进行录像和拍照等功能；当人员出现危险情况时，智能安全帽可以起到报警的作用，对于发生的一些疑难情况，该装置可通过语音连线专家，保证问题第一时间得到有效解决。

4.2 智能手环

智能手环类似于现在的计步器，安装智能设备的手环能够起到监督和维护现场作业的作用。该智能手环通过设置通信信息系统，能够方便地接收到信号。智能手环带有照相和录像的功能，随时可对电力现场施工的情况进行诊断和监测。智能手环具有手写输入的功能，安装的模块能随时对现场的数据资料进行整理和查阅。智能手环可对电力人员的生命体征进行监测，对工作人员在工作中出现的危险情况，能够及时报警，对于危及生命的情况。可以直接启动智能手环的手动报警装置。

4.3 监管防护装置

监管防护装置负责接收可穿戴设备上传的信息资料，对电力人员的安全作业和整个系统的监督和管理起到积极的推动和辅助作用。该监督和管理装置负责根据可穿戴设备人员上传的信息对现场的作业人员进行人工定位，对上传的数据资料进行及时的更新、监督和管理；对于身处危险中的工作人员能够起到检查和提醒的作用。监管防护装置接收电力人员上传的图片和音视频文件，可直接与智能手环等仪器设备进行

语音和视频通话；可以显示可穿戴设备发出的红外信号，根据信号的图片查看现场的作业情况，还可以接收报警人员的求救信号，对于数据的来源和信息需求可以及时进行收集和整理工作，对于报警信号能够根据信号来源进行定位和实时监控；对于电力操作者的数据资料能够进行整理和分析，可以及时分析数据的故障，保证工作的高效顺利进行[5]。

5 结束语

将可穿戴设备应用到电力企业的信息安全中，对电力人员的现场作业可以起到监督和管理的作用，并且可以帮助电力人员解决部分人身安全问题，在提高人员安全和信息准确率的基础上，提高了人员工作的积极性和办事效率。可穿戴设备的应用范围和应用前景随着信息技术的更好发展，将会具有较为光明的前景。目前，通过将可穿戴设备与电力企业的发展进行融合，提高了人员的安全性，在操作的过程中，实现了智能服务。尽管，目前该领域的研究还处于起步阶段，可穿戴设备还存在着价格昂贵等弊端，但是随着信息技术的快速崛起，这些问题将会在不久的将来得到解决。

参考文献：

[1] 吕磊, 贡奥然, 李丹, 等. 智能可穿戴技术在电网中的应用研究[J]. 电力信息与通信技术, 2016(4): 177-180.

[2] 郭雨松, 于振, 赵炜妹. 基于可穿戴技术的电力作业安全监护平台研究[J]. 电力信息与通讯技术, 2015, 13(1): 71-77.

[3] 鲍兴川. 面向电网作业智能可穿戴系统体系架构设计与研究[J]. 自动化仪表, 2017(10): 86-90.

[4] 姚明, 周敏, 王婧. 面向电力安全巡检作业的可穿戴式设备研究[J]. 机电信息, 2017(9): 1-5.

[5] 郝稚宇. 智能穿戴在基础设施安全防护中的应用[J]. 信息通讯, 2018(1): 207-209.

人民邮电出版社出版

可扩展鉴权协议在智能卡中的应用与研究

王岩[1,2]，崔炳荣[1,2]，甘杰[1,2]

（1. 北京智芯微电子科技有限公司国家电网公司重点实验室电力芯片设计分析实验室，北京 100192；
2. 北京智芯微电子科技有限公司北京市电力高可靠性集成电路设计工程技术研究中心，北京 100192）

摘　要：可扩展鉴权协议（EAP）是一系列认证方式的集合，设计理念满足任何链路层的身份认证要求，支持多种链路层认证。EAP 是一种非常灵活的二层协议，包括多种类型。有些 EAP 仅能提供单向认证，而有些 EAP 可以提供双向认证。EAP-AKA 作为一种 EAP 的双向认证方法，可以应用在智能卡平台之上，实现客户端与认证方之间的认证过程。本文结合 EAP 在 LTE 网络中的应用，让读者能够初步了解在 UICC 平台上，如何利用 EAP 技术完成对于网络的接入，简要介绍了目前主流的两种 EAP-AKA 实现方式。

关键词：可扩展鉴权协议；LTE；AKA

1　引言

可扩展鉴权协议最早定义在 RFC 2284 中，是一种支持多种认证方法的认证框架，而不是一个认证机制，EAP（extensible authentication protocol）最初用于 PPP，后来被 RFC 3748 更新，用于 IEEE 802.1X 访问控制。EAP 通常运行于数据链路层之上，如 PPP/IEEE 802 等，因此不依赖于 IP。EAP 提供重复信息的删除与转发，但它依赖于底层正确的排序，EAP 本身不支持分片，但特殊的 EAP 方法可能支持数据分组及组装。EAP 可以提供不同的方法分别支持 PPP、以太网、无线局域网的链路认证。EAP 框架非常灵活，在认证方（authenticator）和客户端（supplicant/peer）交互足够多的信息之后才会决定选择哪一个具体的方法进行认证，可以理解为双方协商认证的方法，认证方不需要支持所有的认证方法，因为架构允许使用一个后端的认证服务器——AAA（authentication、authorization、accounting）服务器，此时认证方将在客户端和认证服务器之间透传信息。EAP 认证方法目前大约有 40 种，RFC 中定义的方法包括 EAP-MD5、EAP-OTP、EAP-GTC、EAP-TLS、EAP-SIM、EAP-AKA 等，还包括一些厂商提供的方法。

EAP-AKA 是 3GPP 组织起草并发布的一种基于 EAP 可扩展鉴权协议框架的双向鉴权方法。一个完整的鉴权流程由多轮次的消息交互过程完成，即 server 与 peer 端通过多个轮次的消息会话来完成鉴权过程。

2　EAP-AKA 认证过程

2.1　整体框架

EAP-AKA 分为全鉴权和快速重鉴权两种模式。典型的应用场景为 ME 通过 WLAN 来连接 3GPP 网络中的认证过程。EAP-AKA 可应用于 UICC 平台，UICC 平台中的 UMTS 应用可以使用用于认证的 EAP 方法完成对于网络接入的支持。其整体框架如图 1 所示。

统一认证接入包括 IEEE 802.11 建立关联、认证、DHCP 地址分配、UE 与 AC 保活、计费、网络退出几个阶段。总体接入流程如图 2 所示。

2.2　认证过程

EAP-AKA 的认证流程根据用户身份种类不同分别使用全鉴权模式及快速重鉴权模式。全鉴权模式共有 4 个典型的流程，分别为鉴权成功流程、鉴权失败流程、鉴权拒绝流程和鉴权同步错误流程。

正常认证流程时，鉴权方向 peer 请求用户 NAI（network access identifier），peer 端响应一个合法的用户 NAI，server 端得到该 NAI 后，运行 AKA 算法，将得到 RAND、AUTN 和 MAC，且通过 request/AKA-challenge 消息发送给 peer 端，peer 端接收到该消息后，运行 AKA 算法来校验 AUTN 和 MAC 并生成 RES 和 session key，peer 端将 RES 和 MAC 通过 response/AKA-challenge 应答给 server 端，server 检测 RES 和 MAC 均正确后，向 peer 端发送 EAP-Success 消息，告知 peer 端鉴权成功。在 Identity 请求的响应

人民邮电出版社出版

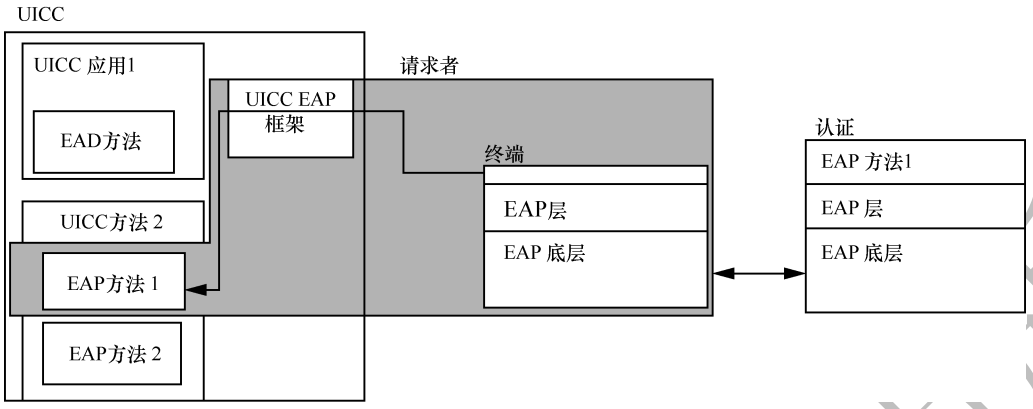


图 1　CC 平台框架

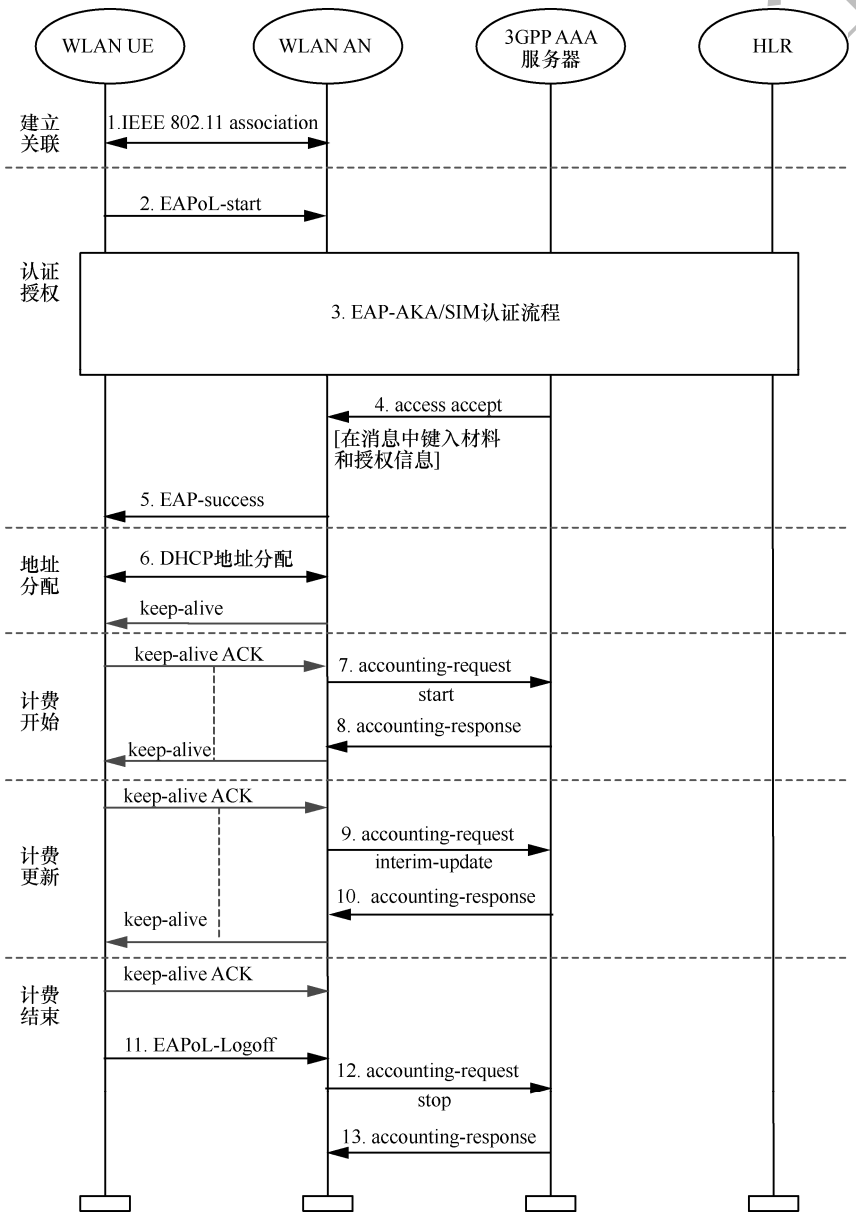


图 2　总体认证流程

中为用于全鉴权的 NAI，可能是 Pseudonym 或者 Permanent ID。AT_RAND 和 AT_AUTN 属性需要被加密，包含在 AT_ENCR_DATA 属性中，AT_MAC 是用于完整性保护的。在 server 端检查 RES 和 MAC 时，发现其中至少一个错误，则向 peer 端发送通知消息 request/AKA-notification，peer 端响应 response/AKA-notification 后，server 端再次向 peer 发送 EAP-failure 消息，指示本次鉴权失败，流程结束。在 peer 端检查 server 端传输来的 AUTN 时，发现 AUTN 错误，则向 server 端响应一个 response/AKA-authentication-reject 消息，server 端收到此消息后向 peer 发送 EAP-failure 消息，指示本次鉴权失败，流程结束。成功认证过程如图 3 所示。

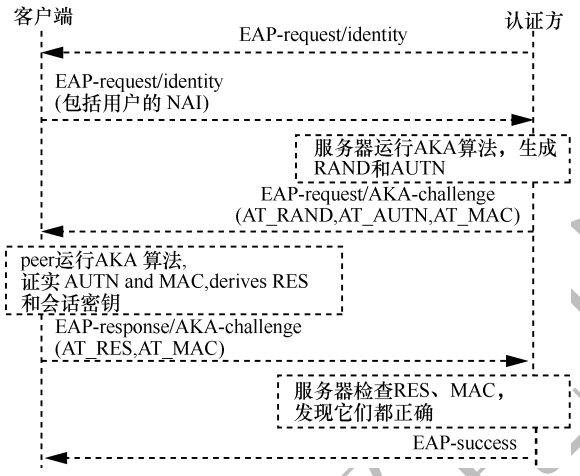


图 3　成功认证过程

在正常发起认证时，也可能出现 SQN 不同步的情况，peer 端在检查 server 端在 request/AKA-challenge 消息中包含的 AUTN 时，发现 AUTN 中的参数 SQN 不是一个合适的参数，则响应给 server 端一个 response/AKA-synchronization-failure 消息，该消息分组含 peer 端使用其最近合法的 32 个 SQN 中最大的一个计算得出的 AUTS，server 端根据此 AUTS 和 RAND，重新进行同步运算，即使用新的 SQN 重新发送 request/AKA-challenge 消息进行全鉴权。同步错误过程如图 4 所示。

与使用全鉴权模式认证的永久用户不同，当用户标识为一次性的临时身份时需要启用快速重鉴权过程。

快速重鉴权模式与全鉴权模式类似，server 端通过 EAP-request/identity 向 peer 端请求 identity，peer 端响应一个快速重鉴权的 identity，server 端收到此

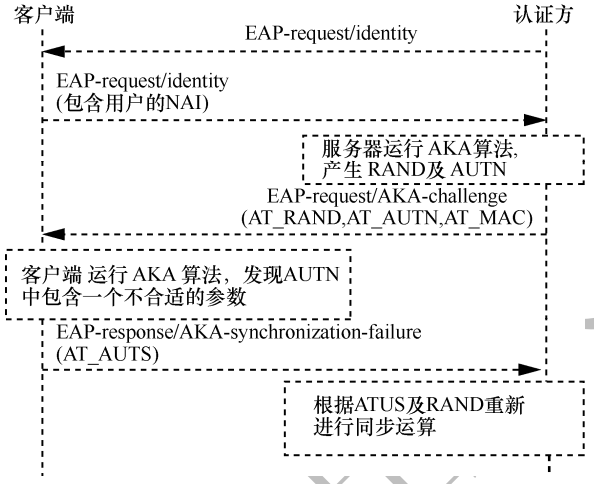


图 4　同步错误过程

identity 并校验其合法后，发起快速重鉴权，向 peer 端发送 EAP-request/AKA-reauthentication 消息，包含 AT_IV、AT_ENCR_DATA、AT_COUNTER、AT_NONCES、AT_NEXT_REAUTH_ID、AT_MAC 属性，其中 AT_IV 为加密该数据时 AES128 CBC 算法的初始向量。peer 端接收到该消息后，检查 AT_MAC 和 counter 合法后，同时也可能存储用于下次快速重鉴权的 identity，给 server 一个 EAP-response/ AKA-reauthentication 响应，包括 AT_IV,AT_ENCR _ DATA, AT_COUNTER,AT_MAC, 其中 AT_COUNTER 与 server 端下行的 counter 值相同，server 端校验 AT_MAC 与 counter 正确后，认为此次快速重鉴权成功，向 peer 端发送 EAP-Success。

当 peer 端在检查 server 端请求的消息 request/ AKA-reauthentication 中的 counter 非法时，即 counter ≤紧邻的上次快速全鉴权时使用的 counter 值，则 peer 端会给 server 端响应一个 response/ AKA-reauthentication，并包含 AT-COUNTER_TOO_ SMALL 属性，server 端接收到该响应消息后，检测到 AT_COUNTER_TOO_SMALL 属性后，则回退到全鉴权，此时向 peer 端发送 EAP-request/AKA-challenge 消息，其中 identity 使用快速重鉴权时获取的快速重鉴权 identity。

3　实现方式

目前应用于 UICC 平台的 EAP 实现大体可以分为两种，一种为 EAP Legacy，另一种为 EAP Native，这两种实现方式均是由 UICC 与 ME 共同组成 peer 端。EAP Legacy 为面向终端的实现方式，UICC 端提供

A3A8 或 Millenage 鉴权算法，EAP 处理由终端实现，目前苹果、三星、LG 等终端厂商均支持这种模式。EAP Native 为面向卡端的实现，鉴权算法与 EAP 处理能力均由卡端提供，ME 仅作为一个 EAP 代理存在，负责与认证方完成信息交换。

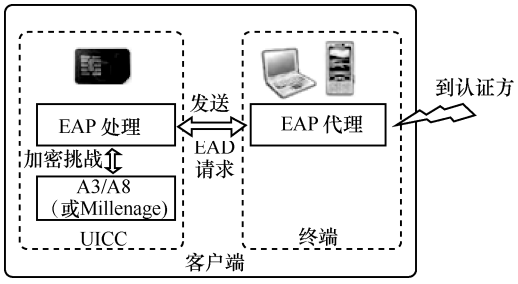


图 5　EAP Native 实现

基于 EAP Native 实现时，UICC 应用可能支持一个或多个 UICC EAP client，需要在 EF_{DIR} 中包括下面的 EAP 相关的数据对象：

- 应用 EAP 支持类型列表；
- 应用 EAP DF 列表；
- 应用 EAP 标签。

卡端鉴权命令使用奇偶鉴权指令，由终端向所选择的 UICC EAP 客户传送 EAP 分组，EAP 客户端应返回与所用鉴权相关的响应 EAP 分组或者返回警告状态字 6200（EAP 分组被丢弃）；9862（鉴权错误或收到 EAP 失败分组），EAP 分组的格式由执行 EAP 方法的应用定义。

（1）鉴权命令使用 Millenage 算法

输入：RAND、AUTN；

输出：RES、IK、CK 或者 AUTS。

（2）计算 Keys（TEKs、MSK、EMSK）

（a）全鉴权

- MK = SHA1(Identity|IK|CK)；
- [K_encr ,K_aut ,MSK, EMSK]=PRF(MK)。

（b）快速重鉴权

- XKEY’ = SHA1(Identity|counter|NONCE_S|MK)；
- [MSK , EMSK]=PRF(XKEY)；
- PRF 同时也计算出了 K_encr、K_aut，但是丢弃，使用全鉴权中的 K_encr、K_aut。

（c）MAC 计算

- Truncated(HMAC-SHA1-128(EAP packet|message-specific data，K_aut))。

（d）AT_ENCR_DATA 加解密算法

- AES128、CBC 模式；
- 添加 AT_PADDING（值为 00），使被加密的 Plaintext 成为 16 byte 的整数倍；
- AT_ENCR_DATA 值域部分：Encrypted value = AES(PlainText, K_encr, IV value)。

4　结束语

EAP 是被设计用于网络访问鉴权的，它提供足够的支持来保证鉴权协议数据传输的可靠性，EAP-AKA 目前已被归入 LTE 网络知识体系，基于 Native 实现的方式不依赖于终端，可以为智能卡提供更广泛的业务场景以及更丰富的接入技术支持，EAP 鉴权方法中不仅 EAP-AKA 可用于智能卡领域，同理 EAP-SIM 也可应用于 UICC 平台，其认证原理与 EAP-AKA 大体相同。

参考文献：

[1] ETSI. LTE; 3G security; wireless local area network (WLAN) interworking security: TS133 234 (UMTS)[S]. 2014.

[2] ETSI. Smart cards; extensible authentication protocol support in the UICC: TS102 310[S]. 2008.

[3] IETF. Extensible authentication protocol method for 3rd generation authentication and key agreement: RFC 4187[S]. 2006.

[4] IETF. Extensible authentication protocol: RFC 3748[S]. 2004.

人民邮电出版社出版

量子通信与抗量子密码研究

谢磊，陈智雨，葛冰玉，黄文雯，李丹丹
（国家电网公司信息通信分公司，北京 100761）

摘　要：随着量子计算技术的发展，传统加密技术面临着严重威胁。量子通信基于物理原理加密，相对传统加密技术有着更高的安全性，但其发展仍不成熟。介绍传统加密通信与量子通信，分析发展抗量子密码的必要性，详解抗量子密码体系与目前的研究成果，对抗量子密码的发展做出展望。我国应在大力发展量子通信的同时，积极布局抗量子密码技术研制，进一步保障国家网络与信息安全。

关键词：抗量子；量子通信；网络安全

1　引言

自人类使用语言以来，信息加密技术就伴随着人类对通信保密程度的需求而不断发展。

在古埃及和古希腊时期，人们通过改变字母的顺序对明文进行加密，随后又发明了字母替换的加密方法，这种方法从古罗马一直延续到中世纪和文艺复兴时期。中国古代也有信息加密方法，例如姜子牙发明的“阴符”和“阳符”就是用敌方看不懂的暗语来传递军事信息。

伴随着科技革命的进一步发展，自动生成密钥的机器出现了。这其中以德国发明的 Enigma（英尼格玛）机最为著名。这种机器通过几个旋钮位置可以自动设置密钥，加密后的情报需要同样的 Enigma 机同样的旋钮位置才能解密出原文，即密钥被隐藏在了机器里面。

到了信息时代，密钥的形式从字母变为了二进制。保护互联网信息安全的加密方式称为“公开密钥”密码体系，其原理是通过加密算法，生成网络上传播的公开密钥以及留在计算机内部的私人密钥，两个密钥必须配合使用才能实现完整的加密和解密过程。目前互联网使用的加密标准是 20 世纪 70 年代诞生的 RSA 算法，RSA 属于公钥加密算法的一种，它利用大数的质因子分解难以计算来保证密钥的安全性[1]。

2　量子通信

传统加密通信依靠的是数学原理，换句话说，其依靠的是在现有计算能力下某类数学问题难以破解来进行加密。如果计算能力有了巨大提升，传统加密的安全性就难以保证。量子通信依靠的是物理原理[2]，无论人类的计算能力如何提升，量子测不准原理与量子不可克隆定律可保证一旦被监听信息就会失真，从而让监听者无法获得正确的信息。

量子通信系统按其所传输的信息是经典还是量子而分为两类。前者主要用于量子密钥的传输，后者则可用于量子隐形传态。

2.1　量子隐形传态

量子隐形传态又称量子遥传、量子隐形传输、量子隐形传送、量子远距传输或量子远传，是一种利用分散量子缠结与一些物理信息（physical information）的转换来传送量子态至任意距离的位置的技术[3]。其通信具体过程如下。

- 接收方和发送方拥有一对共享的EPR对（即bell态），发送方对其所拥有的一半 EPR 对和发送的信息所在的粒子进行联合测量，这样接收方所有的另一半 EPR 对将在瞬间坍缩为另一状态。
- 发送方将测量结果通过经典信道传送给接收方。
- 接收方根据这条信息对自己所拥有的另一半 EPR 对做相应幺正变换，即可恢复原本信息到乙地，根据这些信息，在乙地构造出原量子态的全貌。

与广为流传的说法不同，量子隐形传态需要借助经典信道才能实现，因此并不能实现超光速通信。

2.2　量子密钥分配

20 世纪 40 年代，信息论鼻祖香农采用信息论严格证明，如果密钥长度与明文长度一样长，而且用过

人民邮电出版社出版

后不再重复使用，则这种密文是绝对无法破译的，俗称“一次一密”。但该方法未被广泛推广使用，原因是“一次一密”需要甲乙双方不断地更新密码本，而“密码本”的传送（称为密钥分配）本质上是不安全的。量子密钥分配（quantum key distribution，QKD）可以保证密钥分配的安全性，这也是目前使用量子通信的实际内涵，也有人简称为“量子密码”。

如图 1 所示，量子密钥分配的过程大致如下[4]。

- 单个光子通常作为偏振或相位自由度的量子比特，可以把欲传递的 0、1 随机数编码到这个量子叠加态上，比如，事先约定光子的圆偏振代表 1，线偏振代表 0。
- 光源发出一个光子，甲方随机地将每个光子分别制备成圆偏振态或线偏振态，然后发给合法用户乙方，乙方接收到光子，随机地采用圆偏光或线偏光的检偏器测量。
- 如果检偏器的类型恰好与被测的光子偏振态一致，则测出的随机数与甲编码的随机数必然相同，否则，乙测得的随机数就可能与甲方发射的不同。
- 乙方把甲方发射来的光子逐一测量，记录下测量的结果。然后乙方经由公开信道告诉甲方其所采用的检偏器类型。
- 这时甲方便能知道乙方检测时哪些光子被正确地检测，哪些未被正确地检测，可能出错，于是其告诉乙方仅留下正确检测的结果作为密钥，这样双方就拥有完全一致的 0、1 随机数序列。这串随机数列就是量子通信分配的密钥。

3 抗量子密码的必要性

3.1 量子通信尚未完善

现阶段能够投入实际应用的量子通信方式都只是 QKD。换句话说，目前的量子通信传递的只是加密密钥，信息的正文部分还是通过传统信道传递的，QKD 解决的只是密钥分配的安全性问题。真正能传递信息正文的是量子隐形传态，但此项技术仍处于实验室研究阶段，远未到达投入实际应用的程度[5]。

3.2 一次一密暂未实现

虽然 QKD 传输的只是密钥，但若传输速率能够保证密钥长度与正文内容一样且达到一次一密的程度，那么用 QKD 加密的信息也是绝对安全的。但是目前的 QKD 技术由于受到量子稳定成码率的影响，密钥传输速度无法达到一次一密的程度。这就给攻击者留下了攻击漏洞，假设攻击者的计算速度足够快，在 QKD 传输下一次密钥前攻破了本次使用的密钥，那么攻击者就可以破解部分信息正文[6]。

3.3 量子计算机发展迅速

2017 年，人们已经制造出超越早期经典计算机的光量子计算机。理论上量子计算可以实现计算能力的飞跃。比如求解一个亿亿亿变量的方程组，利用目前最快的超级计算大约需要 100 年，如果利用量子计算机，只需要 0.01 s。业已证明，量子计算机的并行运算能力可以攻破 RSA、DSA 和 ECDSA 密码，现有的公钥体系面临巨大的挑战。在量子隐形传态投入实际应用或者量子密钥分配实现一次一密之前，量子计算机对于目前的量子通信来说是一个巨大威胁。而对于尚未应用 QKD 的普通公钥加密体系，量子计算机的威胁更加明显[7]。

3.4 抗量子密码的优势

量子计算机并不能解决电子计算机难于求解的所有数学问题，这也意味着，量子计算机并不能攻破所有密码体系，特别是 10 年前密码学界就开始着手研究“抗量子攻击的新型密码”，而且不断取得进展。一旦这种新型的安全密码体系的研究得以成功，量子时代

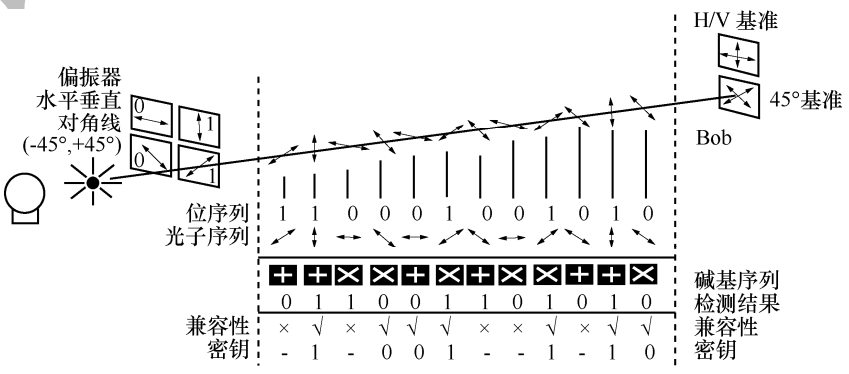


图 1　量子密匙分配示意

的信息安全将得到保证，而且这种抗量子密码（quantum resistant cryptography，QRC）比目前研究的量子密码无论从造价上还是使用上都具有更大优势，相信会获得更广泛应用。

4 抗量子密码体系

4.1 定义

抗量子密码是目前最新的提法，还有其他很多同义词，比如后量子密码（post quantum cryptography，PQC），这是使用时间最长的术语。抗量子算法（quantum resistant algorithm，QRA）是美国国家安全局“8·19”声明中的用法）[8]。这些名称目前在业界均在交替使用。本质上都是指能够抵御量子计算机攻击的数学密码[9]。

4.2 分类

抗量子密码可分为四大类：基于编码的（code-based encryption，C 类）算法、基于多变量多项式的（multi-variable polynomial，M 类）算法、基于安全散列函数的（secure Hash-based，S 类）算法以及格基加密（lattice-based encryption，L 类）算法。这些加密算法发明的时间不同，C 类算法可以追溯到 20 世纪 70 年代。M 类算法诞生于 20 世纪 80 年代中叶，之后经过了诸多变形。S 类算法中最典型的一例是 SHA-3，直至 2015 年才成为美国国家标准；L 类算法是目前最受关注的一类算法，最早产生于 1994 年，后来又衍生了诸多分支，包括现在炙手可热的全同态加密算法。

2006 年，国际密码学界开始把上述四大类数学密码统称为“抗量子密码”，给它们整体冠以“抗量子”这顶桂冠，主要原因有二：它们所依赖的数学上的困难问题均与第一代公钥密码算法所依赖的、被 Shor 算法破解了的那类困难问题无关，换言之，Shor 算法对它们都不起作用；它们各自依赖的数学困难问题之间没有什么关联，即不存在如果发现它们当中某一个困难问题能够被求解出来，其他算法也被破解的风险。

4.3 研究进展

2013 年 9 月，在欧洲电信标准化委员会（ETSI）召开的第一届“量子安全密码”（Quantum Safe Cryptography，QSC）国际会议上，美国国家标准局（National Institute of Standards and Technology，NIST）首次向世人展示了他们将上述 4 类抗量子密码家族纳入标准化的想法[10]。2015 年 11 月，NIST 颁布了《加密算法与密钥长度在过渡期的使用建议》（NIST SP 800-131 Ar1），为下一步转向抗量子密码做铺垫。

在日本 PQCrypto 2016 会议上，欧洲、日本、韩国等地区和国家的密码学家表示了对抗量子密码标准制订极大的兴趣。NIST 给出了明确的抗量子密码标准化时间表，一共分为 3 个阶段：算法征集阶段，从 2016 年 2 月至 2017 年 11 月为面向全球进行抗量子算法的征集阶段；算法评估节点，从 2018 年开始，安排 3~5 年时间进行候选算法的安全和性能评估；算法制标阶段，安排两年左右的时间对最终入选的各类抗量子密码算法制订相应的美国国家标准。大致到 2020 年，美国将完成对各类抗量子密码算法族的评估，从而为“抗量子密码”赢得对“量子计算机研发”的竞赛奠定基础。

4.4 面临的挑战

抗量子密码标准制定面临诸多挑战。

首先，任务繁重。抗量子密码包括 C、S、M 和 L 等若干种类，每一类都衍生了若干具体的算法。挑选出真正可用的抗量子密码需要采取“公开透明”的方式来说服世界各地的研究人员参与其中。

其次是算法成熟度。由于各类抗量子密码算法发明的时间各有先后，一个算法是否已经经过了各国密码学家充分的研究，这对于制标工作而言非常重要。人们肯定不希望看到一款入选的算法公布出来不久之后，就面临严重的安全隐患。需要指出的是，并非出现得越久的算法，受到的关注就越广泛。事实上，整个抗量子密码家族也是近几年（特别是美国 NSA“8·19”声明之后）才引起全球密码学界的广泛关注和研究的。

第三是算法覆盖面。由于目前没有一种抗量子密码算法能够很好地兼顾加密、签名、认证等功能点，而这恰恰是第一代公钥密码的优势，制定抗量子密码标准时会针对每一个功能点来筛选相应的算法，而且每一个功能点可能还会遴选两种以上的算法。

第四是算法适应性。与第一代公钥密码主要面向互联网应用不同，抗量子密码算法必将面临更多、更新、更复杂的网络应用，包括移动互联网、卫星通信、物联网、大数据、云计算等。例如各种用于物联网终端的“轻量级抗量子密码”是否足够抵抗“普遍使用的量子计算机攻击”同时又有很快的加解密速度？又例如这些抗量子密码如何平滑过渡到现有的网络安全协议栈（包括 TLS、IKE 等）而不会影响网络的运行效率？

第五是安全新概念。现阶段人们对密码算法安全性的认识主要基于比特安全（bit security），例如AES-128就是指该算法的密钥长度为128 bit。它意味着“暴力破解”需要计算2^{128}种可能性。按照现有的计算能力，即使到数百亿年之后也计算不完。但是量子计算机不一定遵循比特安全，故而要考虑如何评判抗量子密码的安全性。

最后是算法的专利问题。与其他可以用于加密、签名的抗量子算法候选种类相对较多不同，目前能够用于密钥协商的抗量子算法从本质上来讲只有一款，这是一类基于 L 类密码算法发明的密钥协商算法，是由美籍华人密码学家Jintai Ding于2012年发明的，并且已经获得了美国专利。如果持有者拒绝放弃专利，那么在将来抗量子密码标准的功能点上就缺少了密钥协商算法这一环，这将成为抗量子算法族的一大缺陷。

5 结束语

密码算法自古以来就是直接与应用相关的。密码应用已从传统的仅仅用于那些“神秘的部门”走向了千家万户，甚至进一步成了当今网络空间安全的基石。在人类即将进入新的“量子时代、智能社会”之际，希望我国的密码科学工作者也能充分认知量子密码（量子通信）与抗量子密码的本质，摒弃狭隘的个人及小团体利益，以国家与民族大业为重，尽可能避免低水平的重复，立足高远，从容布局，力争新高地。

参考文献：

[1] 郁昱. 后量子密码专栏序言[J]. 密码学报, 2017, 4(5): 472-473.

[2] 白洁. 量子与密码的悄然碰撞——专访中国科学技术大学韩正甫教授撞[J]. 信息安全与通信保密, 2013(9): 21-25.

[3] 尹宝, 王克达, 王啸, 等. Shor 量子计算对公钥密码的攻击分析[J]. 微型电脑应用, 2015, 31(5): 9-11.

[4] 陈晖, 张文政. 量子密钥分发技术的机遇与挑战[J]. 中国电子科学研究院学报, 2014, 9(1): 27-31.

[5] 李明达, 朱宏峰. 量子密码学应用研究进展[J]. 信息通信, 2012(1): 17-18.

[6] 张焕国, 王后珍. 抗量子计算密码体制研究(待续)[J]. 信息网络安全, 2011(5): 1-4.

[7] 管海明. 抗量子计算公钥密码需求分析与技术路线[J]. 信息网络安全, 2009(4): 10-13.

[8] 游伟青, 陈小明, 齐健. 一类抗量子计算的公钥密码算法研究[J]. 信息网络安全, 2017(4): 53-60.

[9] 刘文瑞. 抗量子计算攻击密码体制发展分析[J]. 通信技术, 2017, 50(5): 1054-1059.

[10] 杜治国. 量子计算与公钥密码[J]. 数学的实践与认识, 2006(5): 173-176.

人民邮电出版社出版

面向电力应用的卫星大数据统一管理平台建设

高秉强，李向阳，袁野，丘志强
（北京国网信通埃森哲信息技术有限公司，北京 100031）

摘　要：针对国家电网公司着眼目前卫星数据共享不足、数据重复购买、IT 资源复用性差、IT 资源紧张等系列问题，首先介绍了卫星大数据电力应用重要性及发展现状，然后着重介绍了卫星大数据统一管理平台建设，分析了平台关键点与创新性，最后进行了总结和展望。

关键词：卫星；大数据；电力应用；管理平台

1　卫星大数据电力应用重要性及发展现状

目前，智能电网建设方兴未艾，更全面、更精细的电网业务服务不断涌现。在智能电网建设和电力业务拓展过程中，各类地表环境数据是决策的基础，也是目前很多工作的瓶颈，因此迫切要求高效、便捷、精准的状态信息数据获取手段。与传统观测手段相比，卫星俯瞰地球犹如“上帝视角”，具有无可比拟的巨大优势。卫星数据具有覆盖范围广、更新周期短等特点[1]。同时，卫星获取信息受条件限制少，在沙漠、高山峻岭、高海拔等自然条件极为恶劣、人类难以到达的地区也可及时获取数据；可以根据任务不同，采用可见光、紫外线、红外线、微波等不同的波段和遥感仪器，全天时、全天候获取大量信息[2]。因此，卫星观测数据特别适用于大范围配置、远距离输电、气候环境变化复杂的大电网形态，引起了越来越广泛的关注[3-4]。

作为电力行业的龙头企业，国家电网公司在卫星数据电力应用方面已经积累了大量的理论基础和实践经验。在近 5 年，先后建立了张北气象卫星数据接收站和华亨北斗卫星数据接收站，同时良乡遥感卫星数据接收站也在建设当中，具备了较好的数据积累。在技术方面，国家电网公司新能源与储能运行控制国家重点实验室开展了成熟、有效的电力数值天气预报服务；国家电网地质灾害监测预警中心采用气象数值天气预报、合成孔径雷达卫星（SAR）及北斗卫星定位数据实现广域、局域和单点多尺度的地质灾害精细监测及综合预警。国家电网预警分中心使用气象、雷达遥感卫星数据开展了各方面业务研究。此外，国家电网公司利用 GPS 和北斗星历数据，研究了时间同步网和频率同步网的融合技术，建立“天地互备”的同步平台，通过北斗空中授时和 SDH 地面链路的主备用授时方式为电力系统提供授时服务。综上不难看出，国家电网在卫星数据电力应用方面已经取得了系列进展，积累了较好的理论实践经验。然而从整体层面上分析，卫星数据电力应用仍存在三大类主要问题。

（1）数据共享不足

目前卫星大数据的电力应用研究与业务相对分散，在不同领域的卫星业务相对独立，所获取的数据仅供自身使用，在数据获取过程中存在数据重复购买问题，共享能力亟待完善[1]。

（2）IT 资源复用不足

在不同业务领域搭建的卫星大数据应用平台或模块在架构设计和数据管理等方面均有不同，所需的硬件资源单独采购、单独使用，跨领域间很难复用，造成 IT 投资分散，难以形成规模效应[5]。

（3）业务整合拓展不足

目前业务化的卫星数据获取渠道尚未打通，数据来源不稳定。同时，卫星数据的应用水平和挖掘深度不足，卫星数据在电力行业的应用潜力仍不够明确[6-7]。

2　卫星大数据统一管理平台建设

针对上述现状与问题，国家电网公司把握卫星大数据快速发展机遇，聚焦现有及潜在的精细智能化电力应用，定制开发了国内首个面向电力应用的卫星大数据统一管理平台。

2.1　平台建设总体目标

围绕电网规划、建设、运行、防灾减灾等业务，以遥感、气象、导航定位三大卫星应用方向为主线，

内部电子出版物 出版

以卫星资源应用为核心，建成卫星大数据统一管理平台。该平台的建设目标如下。

- 面向电力应用需求，实现国内外主流的多元异构卫星大数据业务化收集。
- 实现气象、遥感和北斗卫星大数据的海量存储和统筹管理。
- 实现卫星大数据快速调度、方便查询和高效共享。

本平台的搭建较大程度地解决了目前卫星数据共享不足、IT 资源复用性差等系列问题，降低卫星数据应用的准入门槛、扩展研究范围、逐步形成卫星数据产品的生态圈，促进国家电网公司对卫星数据的理解、收集、管理和调度能力。

2.2 平台建设基本原则

紧紧围绕建设目标，本平台以规范性、开放性、适用性和兼容性为核心设计原则指导实施。

（1）规范性

规范多源卫星数据格式，制定通用的卫星业务化成果共享标准，方便各业务单位卫星数据成果的展示和共享。

（2）开放性

充分利用现有 IT 资源，连通现有硬件资源池，实现资源共享。同时，由于卫星数据来源、数据处理算法或卫星数据应用需求经常发生变更，因此本平台采用的技术架构和产品必须有足够的开放性，以便通过更换模块、插件及时支持新的数据类型及处理算法。

（3）适用性

本平台存储和管理大量卫星数据、支撑多种业务系统，因此必须选择适用的技术架构和产品。如遥感数据文件数量少、更新频率低、单个文件数据量大，使用 NAS 存储+传统架构性价比高等。

（4）兼容性

本平台需要存储管理不同来源的数据，数据入库模块必须兼容这些数据；引入新类型数据时需要加载新的数据处理模块，必须与任务调度系统兼容。

2.3 平台建设方案

紧紧围绕建设目标，卫星大数据应用统一管理平台建设内容主要从卫星数据接入、存储管理及可视化查询展示 3 个方面开展建设。首先，卫星数据接入建设内容主要包括两个部分，一是收集已有卫星数据并接入卫星大数据应用统一管理平台；二是与行业内外卫星相关领域的权威机构洽谈数据接收机制，打通卫星数据获取通道，实现气象、遥感和北斗卫星大数据的业务化接入。根据数据调研，卫星大数据统一管理平台可接入数据类型见表 1。

表 1　卫星大数据应用统一管理平台支持各类卫星数据类型

传感器名称	国家或地区	空间分辨率/m	卫星数据类型
NOAA	美国	1 100	气象卫星数据
风云系列	中国	1 100	
葵花系列	日本	1 000	
MODIS	美国	1 000	
Geoeye-1	美国	0.4	遥感卫星数据
WorldView-1/2/3	美国	0.3~0.5	
Superview	中国	0.5	
KompSAT	韩国	0.5	
资源卫星系列	中国	2	
高分系列	中国	0.8~2	
Sentinel 系列	欧洲	10	
RADARSAT-2	加拿大	3	
ALOS-2	日本	1	
Cosmos-skymed	意大利	1	
TerraSAR-X	德国	1	
Sentinel-1A	欧洲	30	
北斗	中国	—	北斗导航卫星

人民邮电出版社出版

在此基础上，定制化开发卫星大数据管理平台，分别进行数据入库、数据分发服务、数据统计及系统配置管理等方面的建设工作，实现卫星大数据的存储、管理及调度等功能。其中通过系统配置管理实现海量卫星数据的存储管理作业的稳定性和高效性。通过卫星大数据的有效管理和调度，开发卫星数据查询、下载功能模块，实现卫星数据和相关产品的自定义查询、人性化界面设计和交互下载等功能。

卫星大数据应用统一管理平台计划分 3 年建成。到 2017 年年底，完成数据源接入、数据质检、数据处理、数据编目、数据归档等管理功能，完成数据空间、时间、属性查询等系列数据查询功能；完成数据快视浏览、数据信息浏览、数据产品浏览等数据展示功能；完成数据提取、数据下载等功能，初步搭建完成卫星大数据统一应用平台的整个流程架构。在此基础上，2018—2020 年将进一步完善数据处理功能、数据应用模式、数据共享标准等方面，以提供专业高效、方便快捷的数据共享支撑平台。

3 平台关键点与创新性

目前，国内尚无面向电力应用的卫星大数据统一管理平台，因此在本平台实际建设过程中面临较大的不确定性和挑战。与国内外现有的一些数据管理平台相比，本平台具有 3 个鲜明特征。

- 目前国内大多数平台只针对性地管理气象、遥感或北斗某一类数据，没有实现 3 类异构数据的综合管理。因此，平台最优复合架构设计具有很大的挑战。
- 在未来 2~3 年内，本平台将源源不断地获取业务化数据，同时历史数据保存年限较长，因此数据量巨大。如何保证卫星大数据存储调度的稳定性和可靠性是本平台建设的关键点。
- 考虑电力业务应用特征，如何紧贴电力具体业务应用建立数据共享机制及实现数据有效推送是平台建设的重要创新点。

4 总结与展望

围绕发、输、用、变、配电各领域业务需求，国家电网公司与相关领域知名公司进行深入合作，经过高效专业的分工协作初步建立了国内首个面向电力行业的卫星大数据应用统一管理平台。该平台从实际业务需求出发，实现国内外 40 多种主流气象、遥感和北斗卫星数据的海量存储、统筹管理、快速调度和高效共享，较大程度地解决了目前卫星数据共享不足、数据重复购买、IT 资源复用性差、IT 资源紧张等系列问题，降低卫星数据应用的准入门槛、扩展研究范围、逐步形成卫星数据产品的生态圈，促进对卫星数据的理解、收集、管理和调度能力，对各业务单位开展卫星数据业务方面产生巨大的推动作用。

在未来的 2~3 年，卫星大数据应用统一管理平台将在数据调度和数据共享等方面不断完善，对保障电网稳定运行、提升预测精度和精细化生产水平、减少和防范灾害损失、缩短应急和恢复周期等方面提供了可靠有力的数据保障，为国网公司发展更全面、更精细的业务服务提供有力的平台支撑。

参考文献：

[1] 胡毅. 输电线路运行故障分析与防治[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.

[2] 朱述龙, 张占睦. 遥感图像获取与分析[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

[3] 刘振亚. 特高压交流输电线路维护与检测[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.

[4] 许军强, 潘军. 遥感技术在高压输电线选线中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(2): 168-172.

[5] 王钧, 高伟, 杜新春, 等. 杆塔倾泻在线监测系统应用[J]. 陕西电力, 2010, 38(11): 91-93.

[6] 李京, 蒋为国, 王圆圆, 等. 空间技术在灾害与环境中的应用[J]. 中国工程科学, 2008, 10(6): 33-44.

[7] 胡毅, 刘凯. 输电线路遥感巡检与检测技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.

[8] 曹军, 董兴辉. 基于图像采集与识别的输电线路覆冰监测系统[J]. 电气技术, 2010(8): 51-53.

[9] 宁妍, 黄琦. 架空输电导线覆冰及舞动在线检测技术综述[J]. 四川电力技术, 2009, 32(6): 67-70.

[10] 王少华, 蒋兴良. 输电线路导线舞动的国内外研究现状[J]. 高电压技术, 2005, 31(10): 11-14.

人民邮电出版社出版

面向智能电网的物联网应用研究

黄文雯，谢磊，李丹丹，葛冰玉
（国家电网有限公司信息通信分公司，北京 100761）

摘　要：物联网的应用领域从面向企业的基站监控、物流调度追踪等扩展到了面向公众的智能电网、电动汽车、智能家居等。智能电网的关键技术涉及众多领域，其中物联网技术是电网智能化的重要基础，物联网作为智能电网末端信息感知层、通信层的基础环节，在电力系统中具有广泛应用。通过相关的物联网技术实现电网设备的互联互通，营造现代化电力系统。对面向智能电网的物联网架构、应用现状及应用前景进行相关阐述，并对面向智能电网的物联网安全提出几点思考。

关键词：物联网；智能电网；物联网安全

1　引言

随着社会信息化程度的不断提高，人们对互联网提出了更高要求。1999 年 Kevin Ash-ton 教授提出了物联网（Internet of things，IoT）的概念[1]，即物物相连的互联网。物联网是互联网的延伸，它将传统互联网用户之间的互联拓展到了任何物品之间。

在电网发展方面，电力企业也提出了“智能电网”的概念。智能电网也建立在新一代集成、高效的网络基础上，智能电网建设是为了实现更加安全、可靠、经济、环保、友好的社会用电环境。物联网与智能电网的融合作为一种具有极高战略意义的新兴产业技术，已被世界各国所重视。通过相关的物联网技术可以实现电力设备状态检测、电力生产管理、电力资产全寿命周期管理、智能用电等，提高电力系统分析、预警、自愈及防范灾害的能力，提升电网安全运行水平。

2　面向智能电网的物联网架构

标准的互联网网络架构可以用 OSI 七层模型描述，应用于物联网框架内分为 3 个层次更为合适，包括感知层、网络层、应用层，将 OSI 标准模型的大部分整合在了网络层中。

2.1　感知层

感知层用来感知和识别物体，收集基础设备的状态信息。通过安装在基础单元的控制器、传感器收集信息如温度、湿度、用电量等动态信息以及地理位置、设备型号等静态信息，再通过射频识别（RFID）、激光扫描、红外感应等方式交付给网络层。有别于传统应用场景，应用在智能电网中的传感器要适应复杂电磁环境，对于安装在架空线路上的部分还需承受雨淋、冰冻、暴晒等恶劣自然条件[2]。

2.2　网络层

网络层负责准确、及时地送达感知层收集的信息。网络层的主体是现有的电力通信网，对于用电网、线路状态等敏感信息都应该通过电力内部通信网解决，非敏感信息可借由社会公网传递。物联网技术的应用会使通信数据量大幅增长，原有电力专网需进行硬件升级，满足带宽要求。在智能电网中，物联网的传输手段更加丰富，包括光纤骨干网、电力载波通信、微波通信等。

2.3　应用层

应用层一般对应着各自的信息系统，通过对网络层送达的信息做加工整理，按照数据模型或一定参数条件，实现设备的自我管理或为人工决策提供依据。智能电网应用层是将物联网技术与智能电网的需求相结合，通过应用层最终实现信息技术与智能电网的深度融合。面向智能电网的物联网架构如图 1 所示。

3　面向智能电网的物联网应用

3.1　应用现状

经过近十年的发展，物联网技术在智能电网中已有较为成熟的应用场景。物联网技术的应用，对电力系统基础设施资源进行有效整合，使得电力系统通信水平显著提高。

人民邮电出版社出版

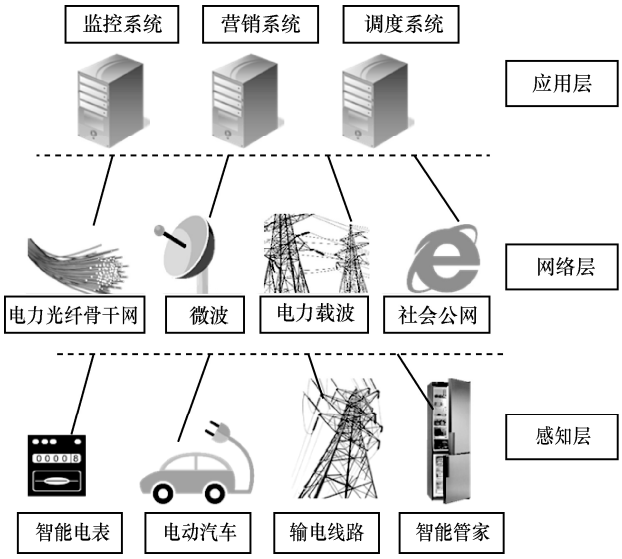


图 1　面向智能电网的物联网架构

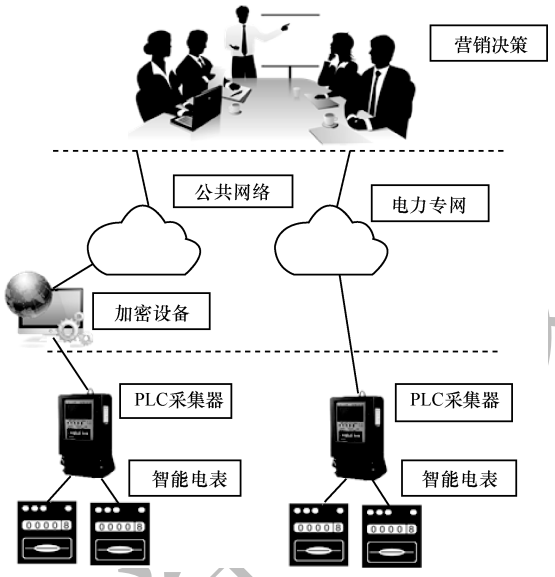


图 2　智能电表工作示意图

3.1.1　自动巡检

传统的电力巡检只能通过定时排班，由检修员工按照既定时间和线路进行。这种巡检方式效率较低，特别是地理环境恶劣的输电线路巡检还可能造成人员伤亡。通过在输配电设备安装传感器对线路状态进行实时或者快速检测，减少时间成本、人力成本，避免漏查，提高效率。目前已实现如气象条件、电缆振动、导线温度、绝缘子清洁度、导线弧垂、杆塔倾斜、冰层厚度等监测，通过对这些参数的自动检测，可对线路可用性预警，消除输电隐患[3]。

自动巡检在新能源发电中应用更为广泛。光伏、风力发电因物理条件限制发电电压、频率并不稳定，通过对单台发电机组的监测，及时调整其入网方式，对提高新能源发电质量有着重要作用。

3.1.2　智能电表

2009 年国家电网公司启动第一批试点项目，大规模采用智能电表。每个智能电表都拥有单独的采集器，可将用电量实时传递到售电系。这种电表的应用取消了原来的人工抄表环节，节省企业成本、避免入户采集纠纷；同时将客户前往营业厅买电环节转移到了线上，用户通过手机、ATM 自助购电后，购电信息实时传递到目标电表，自动开通开启供电，提高客户使用友好性。

同时，智能电表收集的信息是实时且自动的，结合大数据分析后还可对居民用电量做出精确预测，及时调整发电厂供电量。智能电表工作示意图如图 2 所示。

3.1.3　电动汽车充电

电动汽车充电困难一直是束缚其发展的重要因素。通过为动力电池、充电桩安装传感器和 RFID 系统，可以实现电动汽车的快速充电。基础设施建设方面，通过对用户用车时间、频率、地点的收集分析，实现充电桩假设的合理规划；同时对配套的输电线路做升级改造，满足大规模用电设施的功率要求。充电调度方面，通过对用户电池电量的监测，推荐合理的充电行车路线；收集充电站内部当前正在充电车辆数目以及预估用时，及时为调度中心提供本站可用余量。电动汽车充电调度示意图如图 3 所示。

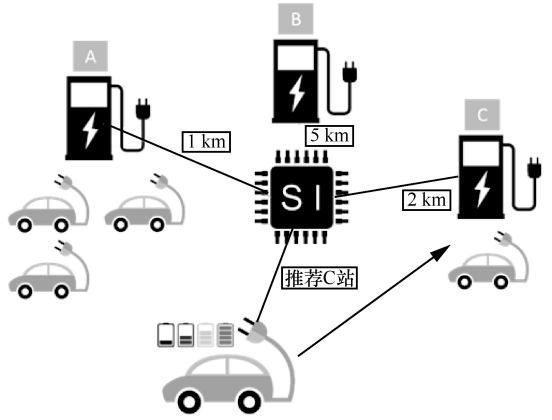


图 3　电动汽车充电调度示意图

3.1.4　智能家居

智能家居是智能电网的重要组成部分。通过在开关或者电器中加入无线网卡并入室内局域网，用户可以实现电器的远程开关。回家前提前开启空调、热水器、净化器等，减少使用等待时间。确认电器使用状

态，及时关停无人使用的大功率设备。

3.2 发展前景

将物联网技术应用到安全生产领域，能够实现安全生产监管领域“物与物互联、智能感知，物与物互动、智慧处理”。基于物联网监控范围广、不改变数据传输协议等特点，将具有环境感知能力的各类终端、计算机信息处理和移动通信等技术融入安全生产的各环节，切实提高安全监管水平。

3.2.1 基于物联网人员定位应用

安全生产区域中的重点区域、危险区域或作业区域的人员的不可见和不知晓往往是导致安全生产事故的重要因素，甚至造成无法弥补的后果。采用基于无线局域网的 RFID 实时定位和视频监控系统实现区域内人员活动和环境的监测，同时将采集的文字和图像数据经过智能分析，对其中的危险行为进行判别和报警，减少人员伤亡，通过视频、RFID 来辅助识别人员的工作情况，提升企业管理能力[4]。

3.2.2 基于物联网设备管理应用

通过在各种生产设备上装置 RFID 标签，通过传感器对生产过程中与安全因素相关的各种静态信息和动态信息进行全方位的分析、辨别和在线计算，并借助接入设备实现信息资源在其他单元中的共享和交互，进而实现对生产设备运行状态的随时跟踪和全寿命周期管理。

3.2.3 基于物联网现场安全生产监督应用

针对企业安全生产过程的运行和检修作业现场工作的规范化与程序化进行检查和监督，通过物联网系统的手持移动设备（PDA），对企业安全生产隐患、危险源和危险点、工作现场的安全措施、操作规程等监督检查，有效避免检查过程中不按步骤、漏检和无目的的巡查现象[5]。

4 面向智能电网的物联网安全

电网运行最本质的追求是安全和稳定，物联网技术的应用极大提高了电网的运行效率和用户友好性，但也引入了新的安全问题，如何有效应对值得深入思考。物联网对电网安全带来的变化主要有 3 点。

4.1 更容易受到攻击

物联网技术的应用使得电力信息采集更加容易，在为正常用户带来便利时也方便了攻击者获取敏感信息。同时物联网设备数目众多，更多的设备意味着更大的被攻击几率。2016 年在美国，mirar 僵尸网络入侵大量物联网设备并对当地 DNS 服务商发起攻击[6]，造成大面积网络服务中断。此外，物联网中不同设备的相互关联也为攻击者提供了额外机会，例如部分电动窗户会根据温度传感器的数据决定是否开启，入侵者既可以攻击窗户本身，也可以通过入侵温度计来控制窗户的开闭。已有实验者通过对智能插座进行侧信道分析，通过用电量来推断电脑所运行的程序。PT&C|LWG 公司指出 2013 年在伦敦 47%的被盗汽车是通过电子攻击来窃取的[7]。

4.2 安全防护资源有限

物联网终端因使用环境和成本限制，大多采用的是低端的控制器，只能执行较少的计算程序，无法预留足够资源用于病毒检测或访问控制。部分设备甚至没有计算组件，例如展示设备信息的二维码，更提不上安全防护功能。为每个设备额外增加安全防护组件又会增加大量的资金成本。

4.3 入侵检测难度大

物联网的引入使得攻击手段形式也极度增加，即使有足够资源安装运行安全防护工具，原有的监测体系并不能适应新环境下的防护需求。同时由于工业设备的异构性，常用的基于通信网络中异常行为进行模式匹配的入侵检测方法，漏报率过高并不适用于工业系统。必须针对特定系统制定专门的监测参数，必要时还需加入人工判定。

5 结束语

智能电网作为物联网的重要应用领域，可实现物联网技术不同程度的应用，现有的电网调度自动化、调控一体化、用电信息数据采集等系统，都是不同形态的物联网应用。智能电网与物联网的深度融合，将带动智能终端、智能传感器、信息通信设备、电力芯片、软件及运行维护产业的发展。本文通过对物联网在智能电网中的不同应用研究，对面向智能电网的物联网应用前景及安全问题进行分析。目前，智能电网的建设还处在初级阶段，还存在诸多不足之处。如部分场景的电力监测数据较少，对装置及系统状态、环境没有形成全面感知，传感器实用化水平有待提升；已有的电力应用系统通信方式不统一，难以实现数据的规范化汇集、传输，终端接入通信网络尚未达到智能电网对通信能力的要求；已有的电力应用系统按专业各自独立建设，支撑数据分散，未形成统一的数据服务和应用平台

人民邮电出版社出版

等，这些难题都有待解决。

参考文献：

[1] 龚刚军, 孙毅, 蔡明明, 等. 面向智能电网的物联网架构与应用方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(20): 52-58.

[2] 高兆丽, 刘昭, 孙刚, 等. 物联网技术与智能电网系统之研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2017(4): 185-186, 189.

[3] 饶威, 丁坚勇, 李锐. 物联网技术在智能电网中的应用[J]. 华中电力, 2011, 24(2): 1-5.

[4] KARAGIANNIS T, PAPAGIANNAKI K, FALOUTSOS M. Blinc: multilevel traffic classification in the dark[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2005, 35(4): 229-240.

[5] CONTI M, NATI M, ROTUNDO E, et al. Mind the plug! Laptop-user recognition through power consumption[C]//2nd ACM International Workshop on IoT Privacy, Trust, and Security, May 30, 2016, Xi'an, China. New York: ACM Press, 2016: 37-44.

[6] MAJZOOBI M, ROSTAMI M, KOUSHANFAR F, et al. Slender PUF protocol: a lightweight, robust, and secure authentication by substring matching[C]//2012 IEEE Symposium on Security and Privacy Workshops, May 24-25, 2012, San Jose, CA, USA. New York: ACM Press, 2012: 33-44.

[7] HILLER M, O'NALAN A G, SIGL G, et al. Online reliability testing for PUF key derivation[C]//6th Int Workshop on Trustworthy Embedded Devices, October 28, 2016, Vienna, Austria. New York: ACM Press, 2016: 152.

人民邮电出版社出版

配网智能运维管控系统研究与实现

魏鑫，唐新忠，李琳，刘冲
（北京国电通网络技术有限公司，北京 100070）

摘　要：本文以提升配电网设备状态管控力和运检管理穿透力为出发点，提出基于大数据平台的配网智能运维管控系统体系架构和支撑总部—网省公司两级部署、总部—省—地市—县—班组的五级应用场景。研究围绕“状态管控、管理管控、指标管控”的运检业务管控应用，形成“运行管控、问题分析、过程督办、绩效评估”的全过程闭环管理流程。

关键词：配网；智能化；运维管理；系统

1　引言

由于配网设备种类繁多，而且各类设备使用寿命不尽相同[1]，加之伴随国家城镇化速度加快，配网改造增容和设备更新换代频率也相应变快。与此同时，配网资产管理不够规范[2]，导致配网资产散落，配网设备统计不够全面，进而致使配网资产监管存在盲区[3]。在非检修状态下，运维检修（以下简称“运检”）人员对配网（配电室、开闭所、环网柜、箱式变）的运行状态无法实时洞悉，对配网线路故障不能及时反馈[4]，对配网设备动力环境也不够了解，电网公司对配网的拓扑架构掌握得不够全面[5]。由于配网的自动化程度低，导致了配电线路分布广，线路故障因素复杂，电网的可靠性不足。变电站及变压器负荷分布不均，网架结构不合理造成某些区域长期过量负荷，某些区域长期负荷量少，配电线路损耗大，经济效益低。

近年来，国内配电网呈现出信息化和自动化发展趋势[6]，在为电力用户提供更加优质、安全和稳定电能的同时，也对配电网运维管理工作提出了更加严格的要求。考虑到配电网具有点多、线长、面广等特点，为了更好地适应当前形势发展需要，电力部门必须与时俱进的革新配电网运维管理技术[7]。基于信息技术和互联网技术的配网智能运维管控系统可以提高配电网各个系统之间的信息联系，实现业务融合，为配电网的建设、改造和优化提供指导，具有重要的实际应用价值。

2　系统架构

配网智能运维管控系统采用总部—网省两级部署、总部—省—地市—县—班组五级应用的总体架构，通过总部和网省平台实现纵向贯通。总部层实时掌控全公司配电网的设备装备水平、设备停运及异常状态、设备检修计划及执行、配网工程进度、应急抢修服务等配电相关业务总体情况及各网省公司排名，实现五级穿透管控。省层实现四级穿透管控，及时发现配电网设备及管理中存在的问题，辅助开展针对性整治，实现薄弱环节精准定位，管理提升精准发力。地市层实现三级穿透管控，定位问题原因，对设备异常、指标异常及设备风险进行预警，辅助合理安排运维及改造计划，开展主动检修，提高设备运行效率及配网“两率”水平[8]。县层实现两级穿透管控，定位问题原因，对设备异常、指标异常及设备风险进行预警，辅助合理安排运维及改造计划，开展主动检修，提高设备运行效率及配网“两率”水平。班组层自动推送本班组所辖配网设备的停运事件、异常预警信息，深入开展原因分析，针对性开展主动运维、主动检修和主动服务，提高工作成效。横向实现配电网自 110 kV/35 kV 站至配变设备的站线变逐级管控，从区域级管控、站级管控、线路级管控、设备级管控开展从面到点的多层级维度管控，以“剥洋葱”的方式进行功能和数据的层层递进，实现数据挖掘和业务的穿透。配网智能运维管控系统架构如图 1 所示。

3　系统功能

3.1　设备状态管控

根据配电网实时运行数据，感知设备运行状态，及时发现设备潜在运行隐患，辅助科学指导

人民邮电出版社出版

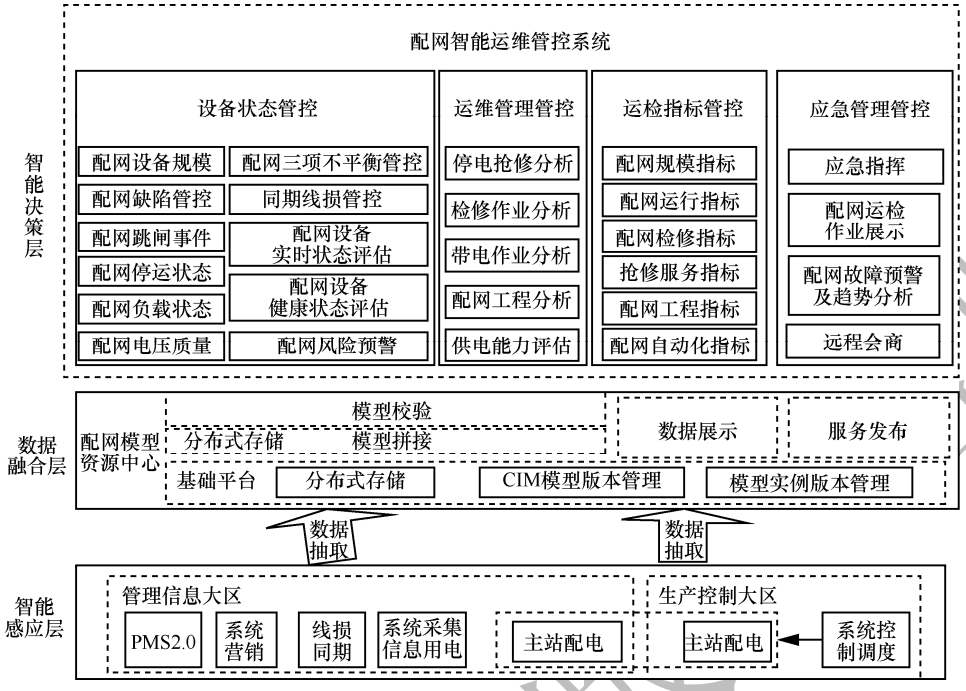


图 1　配网智能运维管控系统架构

配网运维检修工作，降低运检成本，提高配网设备可用性；开展配电网运行状态趋势分析，形成符合状态检修要求的预警告警机制，辅助提升电网检修、运行的效率效益。主要包括设备规模、缺陷管控、跳闸事件、停运状态、负载状态、电压质量、三相不平衡管控、同期线损管控、设备实时状态评价、设备健康状态评估、风险预警及状态可视化等功能。

3.2　配网运维管控

针对配网运维检修、抢修工作的进展、重要节点、关键环节进行监控，跟踪分析业务全过程，实现对运检工时、成本、成效等挖掘分析。同时，基于配网运行状态管控实现对配网业务异常情况的督办与主动预警，形成闭环主动检修管理。主要包括停电抢修分析、检修作业分析、带电作业分析、配网工程分析、主动检修管理、供电能力评估等功能。

3.3　运检指标管控

面向监管层面，实现设备类、工程类、作业质量类关键运行指标的分析展现。 同时，制定各类指标的合理区间，跟踪指标的走势，验证业务开展成效，辅助发现弱项指标，并对指标异常情况进行预警和分析，实现各类指标全过程管控。主要包括配网规模指标、配网自动化指标、配网运行指标、配网检修指标、抢修服务指标、配网工程指标等内容。

3.4　应急管理管控

基于地理图、专题图、单线图及各种图形化控件，以多种形式展示配电网异常、告警等管控场景（跳闸、停运、负载、电压越限、三相不平衡、线损及各种天气情况等），便于各单位直观掌握配电网设备状态异常、运维管理、天气变化时的设备异常变化等情况，从宏观角度掌控电网设备运行状态，辅助配电网决策分析。

4　平台设计

4.1 平台结构

平台的设计依赖于统一的人员管理机制、统一的功能设定管理、统一的权限管理和灵活的单位管理的实现。平台实现外部系统的自动嵌入及自主控制，实现数据完全统一的松散偶合依赖。平台提供登录操作与非登录操作的各个权限自动分配、分析处理、分析及接受一切外源数据。完全实现一个平台的不同展现风格，提供隐形与非隐形等多种使用功能，实现平台的每个部件都是一个可以利用的零件，提供多种二次开发接口。实现平台自主运行错误纠正功能和错误日志记载功能。平台基于目前最流行的软件技术，采用 B/S 结构，具有可扩展性和可移植性。平台结构设计如图 2 所示，利用多种

类型的数据采集终端对设备现场的实时状态进行采集，由集中器按照预先定义的数据格式进行打包，通过光纤、4G、电力无线专网等通信方式将数据上传到云端数据库，利用平台的大数据处理能力对区域配网设计进行集中监控、分析预测和故障诊断，并为运维人员或专业运维公司提供便捷的移动运维服务。

4.2 平台业务

- 运维业务：巡检、故障抢修、无人值守、动环（变压器温度、铜排温度、线缆温度、环境温湿度、水浸、烟雾）、安防（门禁、报警、视频、火灾探测）、照明控制、给排水控制等。
- 用能管理：需求响应、需量申报、谐波治理、节能诊断、综合用能报告等。

4.3 平台功能

- 基础数据配置：平台对用户的信息及各个账号的权限进行统一的配置管理，对不同的用户设定不同的权限，开放不同的平台使用功能。
- 测量装置配置：通过平台监测各个装置一次配电图、通信状态图对越限、故障的行为进行告警。
- 变电所运维管理：平台变电所的运维人员的巡视计划，故障检修，派工交接班进行统一的管理，运维人员可通过 App 端查询工作计划，发现故障时及时进行维修。
- 设备管理：对设备（配电线缆、变压器、配电设备）进行归档管理，有专门的维修人员对设备进行检修并建立维修档案，以便及时查询。
- 历史数据查询：平台会记录电气参数、环境参数、报警信息等历史数据信息，用户可通过平台或 App 实时查询。
- 报表、统计数据：获得数据后，平台会对数据进行分析并统计报表，包括分时用一点数据的统计，功率因素分析以及时间统计、故障统计、分项能耗等。
- 地图导航：结合电子地图显示变电所的分布情况，并汇总变电所数量、累计装机容量、累计运行容量等信息，点击图标可跳转至变电所详细信息。
- 变电所概况：显示某个变电所的基本信息（电压等级、变压器台数、装机容量、运行容量）、运行状态（功率、环境温湿度等）、事件信息(遥信事件、遥测事件)、当日用能情况（逐时用能趋势、环比用能情况）。
- 电力参数查询：可查询电力仪表的某天的电力数据（电流、电压、功率、频率、谐波等），并以图表和表格的形式显示，数据可导出至 excel。
- 用能报表：可统计每一块电力仪表每小时、每天、每月的用电情况，并进行同比、占比分析，相关数据可导出至 excel。

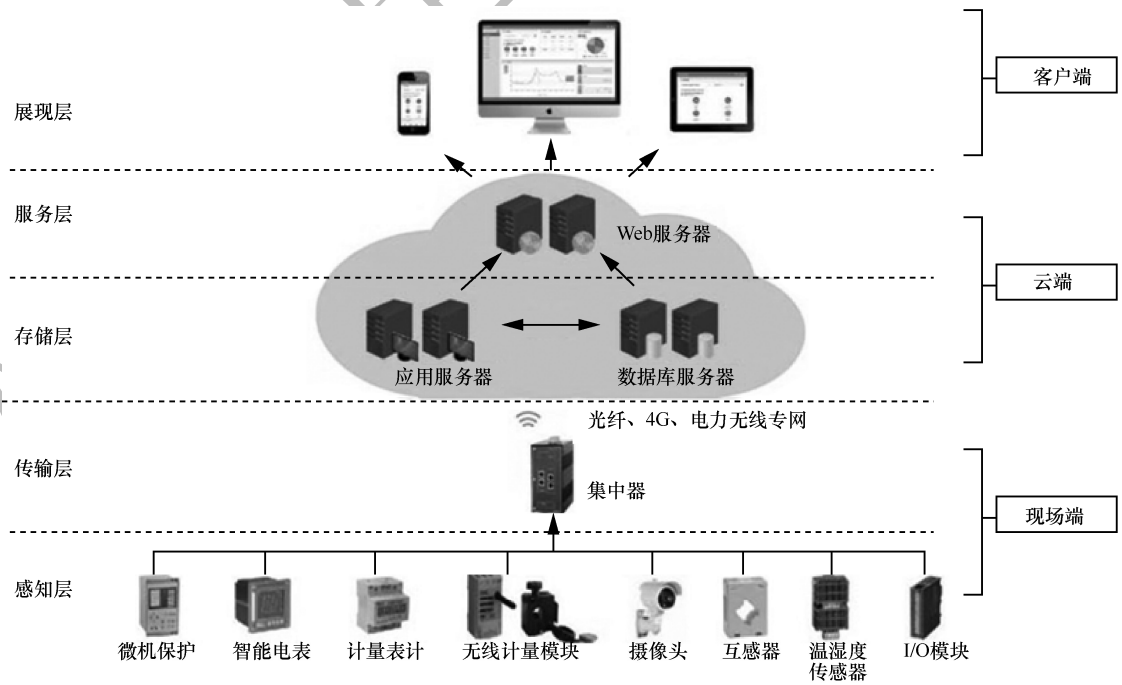


图 2　配网智能运维管控平台结构

- 运行环境：显示某个变电所的仪表通信状态、环境信息（温度、湿度、水浸、烟雾等）、视频信息等。
- 事件及报警信息：当系统监测到遥测越限、遥信变位事件时，主动以声音、短信的形式告知用户，并记录相关事件供今后查询统计。
- 变电所巡检：通过系统编制巡检计划，经审核后生成巡检任务推送到巡检人员的手机上，巡检人员执行巡检任务并登记巡检内容。
- 云平台访问方式：多种终端、多平台访问电力运维平台，以表格、图表、报表的形式可视化显示数据；

通过手机 App 执行变电所巡视计划、故障处理、交接班、设备台账；通过微信、短信、邮件的方式主动接收云服务推送的各类报警信息、派工信息，随时随地移动办公。

5 结束语

配网智能运维管控系统实现了全业务数据信息的高度集成，形成了一键式综合分析应用，有效解决数据来源多、数据集成复杂、分析内容不全面、综合分析不到位、分析维度不全面等状态分析问题。实现对业务过程中的流程、位置、工作、痕迹状态的实时管控，解决流程状态不明确、人员位置不清楚、工作反馈不及时、工作痕迹不记录等多方面的问题。同时，系统还实现了分层督办的穿透式管理以及自动生成分析报告及建议。

参考文献：

[1] 徐磊. 关于配网设备状态检修及运行维护[J]. 工业, 2015(62): 99.

[2] 王海冰, 范明天, 王承民,等. No.1 配电网的风险评估和资产管理研究[J]. 供用电, 2016, 33(5).

[3] 杨育鉴. 电网企业全面资产管理体系架构规划[D]. 昆明：云南大学, 2012.

[4] 张云嵩. 浅谈配电网线路常见故障及应对措施[C]//2015 年云南电力技术论坛.[出版地不详：出版者不详], 2015.

[5] 耿俊成, 张小斐, 郭志民,等. 基于离散 Fréchet 距离和剪辑近邻法的低压配电网拓扑结构校验方法[J]. 电测与仪表, 2017, 54(5): 50-55.

[6] 张永福. 关于配电网运维管控平台功能架构的探讨[J]. 科学与信息化, 2017(31).

[7] 吴奔放. 浅析基层供电企业配电网运维管理及技术改造[J]. 大科技, 2017(15).

[8] 陈化, 江晓雁, 张荣春,等. 关于有效提高城区配网供电“两率”的研究[J]. 中国科技纵横, 2016(6).

人民邮电出版社出版

区块链技术与网络安全

张桐
（国网电子商务有限公司，北京 100069）

摘　要：区块链技术的去中心化、公开透明、信息很难篡改和匿名性等特点保证了其安全性。该技术现被应用到数字货币、物联网等重要领域。分析了区块链底层技术的实现原理和特点，探讨了如何将它与物联网相结合实现安全的互联网等。从身份验证、数据保密性和完整性、环节 DDoS 攻击、保护隐私信息、更安全的 DNS 共 5 个方面介绍了区块链的应用安全。

关键词：区块链；网络安全；物联网

1　引言

区块链是一种按照时间顺序将数据区块以顺序相连接的方式组合成的一种链式数据结构，并以密码学方式保证的很难篡改和很难伪造的分布式账本。其特点是去中心化、公开透明、让每个人均可参与数据库济洛路。其利用块链式数据结构来验证与存储数据、利用分布式节点共识算法生成和更新数据、利用密码学的方式保证数据传输和访问的安全、利用由自动化脚本代码组成的智能合约来编程和操作数据的一种全新的分布式基础架构与计算方式[1]。

现如今网络应用迅速增长，网络将变得不再安全，众多应用面临着共同的安全问题，特别是涉及金钱的交易，都是作恶者的目标。那么随之兴起的区块链技术将解决这一难题：

- 参考文献[2]利用区块链防护、记录和验证交易行为，确保数据完整性和安全性。
- 参考文献[3]提出了利用区块链可靠的信息交互、完整的数据存储、可信的节点认证等安全性优势，在网络安全领域具有极大的应用潜力。

2　问题分析及对比

2.1　区块链的原理与安全特性

区块链技术被应用到多个领域，用户最为熟悉的就是比特币，区块链之所以解决比特币面临的所有问题，其解决方案并不是纯技术，而是采用了一种社会学博弈的激励措施，这些措施最终让作恶成本变得昂贵。区块链结构如图 1 所示。

所谓的区块链，就是每一个区块相互连接，形成一个链条状的结构。图 1 中的每一个区块实际上是若干个交易单的容器，交易单的数量取决于效率和消耗之间的权衡。

区块链和传统金融交易不同，区块链基于数学算法和数据结构，相比传统网络安全防护具有三大特点：第一，共识机制代替中心认证机制。传统网络的用户认证采用中央认证中心（CA）方式，整个系统的安全性完全依赖于集中部署的 CA 和相应的内部管理人员身上。如果 CA 被攻击，则所有用户的数据可能被窃

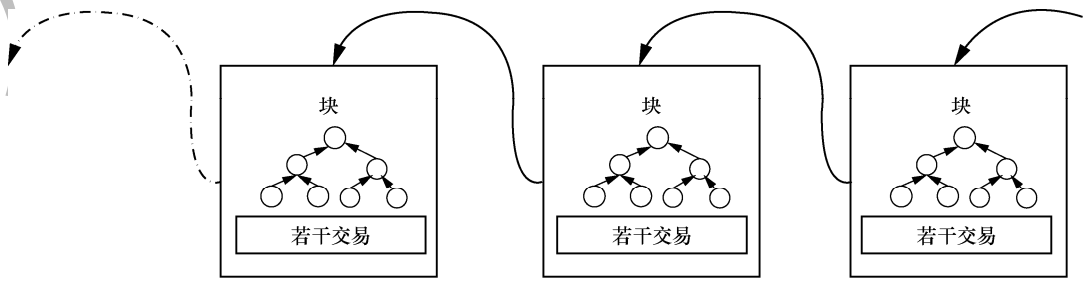


图 1　区块链结构

取或者修改。而在区块链节点共识机制下，无需第三方信任平台，写入的数据需要网络大部分节点的认可才可以被记录，因此，攻击者至少控制全网络一半以上的节点才能够伪造或者篡改数据，这将大大增加攻击的成本和难度。第二，数据篡改“牵一发动全身”。区块链采用了带有时间戳的链式区块结构存储数据，为数据的记录增加了时间维度，具有可验证性和可追溯性。当改变其中一个区块中的任何一个信息，都会导致从该区块往后所有区块数据的内容修改，从而极大增加数据篡改的难度。第三，抵抗分布式拒绝服务（DDoS）。区块链的节点分散，每个节点都具备完整的区块链信息，而且可以对其他节点的数据有效性进行验证，因此针对区块链的 DDoS 攻击将会更难展开。即便攻击者攻破某个节点，剩余节点也可以正常维持整个区块链系统。

2.2 网络的发展及安全问题

无论是生活中还是工作中，网络无处不在，网络带给用户极其丰富的生活和美好的享受。随着互联网的飞速发展，人们对网络的需求逐渐增长。人们从面对面的交谈、千里送信，到聊天软件的出现，沟通不再困难，不再受约束；从商场购物，到电商的兴起，用户不出门就可以买到想要的东西；从现金消费，到各种支付软件的出现，使得消费不再使用现金等。这些都是因为互联网的出现，网络被越来越多的人所应用，它刷新了地理因素和时间的限制，为人们的生活带去了方便。

随之出现严重的安全问题，计算机系统和软件都是由程序员编写出来的，一个庞大的系统，在团队协作模式下，编写极其艰难与复杂。各模块间的合并，致使软件会存在漏洞。同样计算机硬件的兼容性和通用性也会产生一些安全漏洞。正是因为这样，攻击者通过漏洞入侵系统，从而获取或更改重要的数据信息，破坏网络系统。尤其是涉及金钱交易的系统，安全级别要求更高，网络将变得不再安全。

2.3 区块链的安全应用

区块链可应用在网络安全领域，区块链凭借去中心化结构带来的安全特性，已被金融、医疗、互联网等行业所应用。无论是数据的完整性保护，还是利用数字化识别技术保护物联网设备免受 DDoS 攻击，区块链技术都可以发挥重要的作用。在现实生活中，怎样将区块链技术应用到网络安全上，经查阅资料，结合现有的应用总结出以下几点。

（1）身份验证

随着互联网的发展，物联网进入了人们的视野，物联网是新一代信息技术的重要组成，物联网的核心是互联网，通过各种信息传感设备，实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程等各种需要的信息，与互联网结合形成一个巨大网络，其目的是实现物与物、物与人、物与网络的连接，方便识别、管理和控制。那么既然是与网络连接，这也意味着需要面临更多的安全风险，因此，如何确保物联网设备的安全也就成了很多人研究的目标。

区块链技术的出现解决了这一难题，位于加州帕洛阿尔托的安全初创公司 Xage Security。利用区块链的“防篡改”技术保障整个网络内设备的私有数据分发及认证安全，该公司还与戴尔合作，在戴尔 IoT 网关和能源生产行业 EdgeX 平台上提供安全服务。

（2）数据保密性和完整性

在这个不安全的网络中，网络通信的任何数据都有可能被恶意窃取或篡改，这显然是个很严重的问题。这也许是整个 IoT 产业都需要面临的问题，但是区块链技术已经解决了数据保密以及访问控制的问题。比如 IBM 公司的 Watson IoT 平台、爱立信公司的 PredixPaaS 平台等，它们将区块链技术应用到自己的平台，保护数据完整性并对外提供服务。

（3）环节 DDoS 攻击

DDoS 攻击可以说是众多攻击中最常见的一种，该攻击通过大量的请求占用网络资源，促使网络瘫痪。现可利用区块链技术，缓解 DDoS 攻击发生的频率。区块链初创公司 Gladius 表示，其去中心化账本系统有助于抵御 DDoS 攻击，该解决方案可通过使客户接入附近防护资源池来提供更好的保护并加速客户内容，以抵御 DDoS 攻击。

（4）保护隐私信息

现如今，随着社交软件的不断增长，隐私信息成了保护的难题。在社交软件中，发送敏感以及隐私信息也很常见，那么，如何保护这些信息不被窃取。据报道，美国国防部高级研究计划局的工程师正在尝试使用区块链来创建一个安全且无法通过外部攻击的消息服务。虽然现在该技术的应用尚未成熟，相信在不久的将来该技术会应用广泛，变得成熟。

（5）更安全的 DNS

DNS 是万维网上作为域名和 IP 地址相互映射的

一个分布式数据库，能够使用户更方便地访问互联网。既然跟网络有关，那么少不了安全问题。目前存在 DNS 缓存感染、信息劫持、重定向等安全隐患。如何更安全地避免这个问题，区块链最擅长的是记录交易，一旦交易被确认，信息将很难被篡改，区块链 DNS 就是利用了这个特性，将域名和 IP 地址对应关系的“增”“删”“改”记录在区块链中，可以在全网达成共识，很难篡改，形成交易记录层。目前该技术已被国外某些公司所应用。

3 结束语

本文提出网络存在的安全隐患以及问题，并做出了具体的分析及采用区块链技术更好的解决方式。区块链技术具有安全可靠的信息交互、完整的数据存储、可信的节点认证等安全性优势，并且该技术在国外应用比较广泛，形成一种趋势，重要的是，它能帮助用户解决很多核心的安全问题。因此该技术为网络安全提供了一种更好的思路和方式。虽然现在区块链技术尚未成熟，应用不是很多，但预计不久的将来将会广泛应用。

参考文献：

[1] 袁勇, 王飞跃. 区块链技术发展现状与展望[J]. 自动化学报, 2016, 42(4): 481-494.

[2] 杨浩. 区块链应用在网络安全的案例[J].计算机与网络, 2018, 44(9): 52-53.

[3] 冯泽冰. 区块链技术，如何提升网络安全？[N]. 人民邮电报, 2017-12-26.

人民邮电出版社出版

区块链技术在电力交易中的应用及挑战

韩庆芝[1,2]，徐彧[1,2]，颜拥[3]，王俊生[1,2]，吕梓童[1,2]
（1. 国网电子商务有限公司（国网雄安金融科技集团有限公司），北京 100053;
2. 国家电网有限公司电力金融与电子商务实验室，北京 100053;
3. 国网浙江省电力公司电力科学研究院，浙江 杭州 310009）

摘　要：区块链系统具有分布式高冗余存储、时序数据且很难篡改与伪造、去中心化信用、自动执行的智能合约、安全和保护隐私等显著的特点，能够保证不同主体之间的相互信任，极大地降低维护信任的成本。因此，区块链技术不仅可以应用于“数字加密货币”领域，在金融、医疗、数据存储、物联网等诸多领域也存在广泛的应用场景，同时，其也将对能源互联网领域产生深刻变革。首先对区块链的发展现状进行了详细介绍，然后对区块链如何应用于电力交易中，提出了具体的解决方案，最后对能源互联网中区块链的应用面临的挑战进行了总结。

关键词：区块链；去中心化信用；能源互联网；应用风险

1　引言

区块链系统具有分布式高冗余存储、时序数据且很难篡改与伪造、去中心化信用、自动执行的智能合约、安全和保护隐私等显著的优点，吸引了众多学者对其进行积极研究和探索[1-4]，区块链技术的研究与应用呈现出爆发式增长态势。

当前，在电力交易中，具有参与方较多、峰谷电价不同、记账不清晰、分账不明、账期较长等问题，这在一定程度上制约了电力交易市场化的发展[5-6]。

将区块链技术应用于电力交易，利用智能合约[7-8]将烦琐、耗时、繁杂的业务清算以数字形式保存在区块链上, 通过计算机系统自动执行,让结算过程变得更加简单与结构化；同时，用分布式、不对称加密的账本记账，能够使交易记录很难篡改，保证了记账的安全性和高透明度。还有，区块链能够准确地登记每一笔历史交易，并且保证可追溯，因此具有高审计性[9]。参考文献[10-11]提出用“电子货币”表示电力，将电力当成普通商品进行买卖。

以区块链技术为基础，充分发挥其分布式、去中心化、智能合约等的特性，解决光伏、风电等绿色电能交易和能效管理以及信誉风险问题。同时，消费者以低成本购买和销售当地的可再生能源（或是过剩能源），也可绕过中间商，实现点对点的交易，获得廉价电力[12]。

随着国家电网公司实施全球能源互联网战略，区块链技术也将在能源互联网时代，以低管理成本、高能源利用率促进能源互联网的高效运行。在此背景下，本文首先详细介绍了区块链的发展现状，然后对区块链如何应用于电力交易中，提出了具体的解决方案，最后，提出了区块链在电力交易应用中可能存在的挑战。希望通过本文对区块链在电力交易应用的全面分析，能为其他相关研究者提供借鉴。

2　区块链技术

2.1　区块链技术发展现状

自从 2008 年中本聪（Satoshi Nakamoto）发表了论文《比特币：一种点对点电子现金系统》以来，区块链技术历经可编程“数字加密货币”体系为主要特征的区块链 1.0 模式、以可编程金融系统为主要特征的区块链 2.0 模式阶段，正进入以可编程社会为主要特征的区块链 3.0 模式，区块链技术的应用也越来越广泛[13-17]。

世界交易所联合会在对全球 24 家公司、交易所、中央证券保管处和中央对手方的调查中发现，大多数服务供应商在积极探索区块链技术应用程序。美国知

基金项目：国家电网公司科学技术项目（No.52110417000G）

名的电子零售巨头 Overstock 已于 2015 年 8 月通过区块链平台发布以“加密货币”为基础的“数字企业证券”，以此实现证券的线上交易。美国纳斯达克于 2015 年 12 月率先推出基于区块链技术的证券交易平台——Linq，成为金融证券市场去中心化趋势的重要里程碑。初创公司 R3CEV 基于微软云服务平台 Azure 推出的 BaaS 服务，已与美国银行、花旗银行等全球 40 余家大型银行机构签署区块链合作项目，致力于制定银行业的区块链行业标准与协议[18]。

2016 年 9 月，IBM 宣布和中国银联完成了利用区块链技术促进银行间的积分共享的试点项目。同年 10 月，俄罗斯中央证券存管机构与中国证券登记结算有限公司合作开启区块链应用合作。2017 年 1 月中国邮政储蓄银行携手 IBM，宣布推出基于区块链的资产托管系统[19]。

由于区块链系统上的数据具有很难被篡改的优点，其被广泛应用于各类数据公证和审计场景，例如政府机构核发的各类许可证、登记表、执照、证明、认证和记录等可以由区块链系统永久安全存储，并可在任意时间证明其合法性[20]。目前区块链技术已经应用于专业审计公司进行高效地实时审计，例如德勤等。此外，区块链公司 Factom 利用区块链技术维护了一个很难更改的数据网络。区块链技术在数据存证领域的应用，大大降低了核查数据记录真实性的难度与成本，使进行独立审计与遵守监管条例更容易。

2015 年 4 月，区块链技术公司 Gem 与菲利普公司进行区块链技术合作，试图对区块链技术在医疗数据、理赔过程、药品供应链、健康网络、通用健康身份以及基因数据管理等方面开展应用。同年，区块链公司 Factom 与医疗记录和服务方案供应商 Healthnautica 合作研究如何利用区块链技术确保医疗数据的安全，以便为医疗记录相关公司提供防篡改数据管理。2016 年 3 月，Philips 和区块链数据记录公司 Tierion 共同研究区块链技术在医疗健康领域中的应用。同年 12 月，为保证病人数据的安全，谷歌旗下人工智能公司 DeepMind Technologies 开展了分布式分类记账应用的研究。BitHealth 公司致力于区块链技术在医疗健康数据存储和保护方面的应用，以便在全球范围内安全地传送和存储医疗数据。

针对庞大的中国猪肉产业供应链，沃尔玛、IBM 和清华大学共同创建了基于区块链技术的中国猪肉产业供应链项目，以确保供应链数据更加精确和安全。2016 年 6 月，Fluent 联合创始人 Lamar Wilson 和 Lafe Taylor 公布了一个基于区块链并且可以简化供应链的金融运营网络 Fluent。同年 8 月，美国银行、汇丰银行联合新加坡政府建立基于超级账本协议的区块链供应链项目。次年 3 月，北美区块链协会 NABA 与科技金融国际峰会组委会共同发起成立了全球区块链供应链联盟 SLEAGUE，并创建全球供应链区块链实验室 SLABS。IBM 和马士基合作构建了基于 Hyperledger Fabric 的区块链解决方案，利用区块链技术管理托运人、货运代理、海运承运人、港口和海关当局之间的交易，帮助改造全球跨境供应链。为解决供应链金融和中小企业融资难题，点融网和富士康联合推出首个区块链供应链金融平台 Chained Finance。

IBM 与三星针对下一代的物联网系统建立了一个基于 IBM 的 ADEPT 概念证明型系统（ADEPT 是 IBM 一个基于 P2P 的区块链技术的研究项目）。Filament 公司宣布了一种以秒为单位快速地部署一个安全的、全范围的无线网络传感器设备，并且基于区块链为基础的技术堆栈操作，可以用 Filament 设备独立处理付款，以及允许执行智能合约，确保交易的可信。

2.2 区块链技术在电力交易中的应用

传统电力交易市场对交易的管理有中心机构管理和市场成员自发管理两种方案。其中，采用中心机构管理的方法存在以下缺陷：首先，中心机构需要雇佣大量人员对中心数据库进行维护，在交易清算的过程中，要与银行等第三方金融机构进行信息的频繁校对，成本较高；其次，从信息安全角度上来说，一旦中心机构受到攻击，数据可能丢失或被篡改，酿成严重后果。此外，过度中心化导致信息不对称，中心机构掌握市场的所有交易信息，用户隐私难以保障，可能存在利用中心权力损害参与者利益的情况。

对于中心化模式存在的问题，利用区块链技术的分布式存储、数据加密、去信任的特点，能够改造传统电力交易模式，使各交易方账本透明共享，交易清算速度快。同时，数据安全和用户隐私也可以得到保障。

在电力交易市场上，参与交易的用户角色可分为 4 类：生产者，如传统发电厂、新能源电站；生产消费者，如家庭光伏用户、通信基站、数据中心、含 UPS 的商业楼宇；一般消费者，如一般家庭用户、一般商业楼宇；公共设施维护者，如国家电网。电力交易市场的电力生产、交易、计费如图 1 所示。

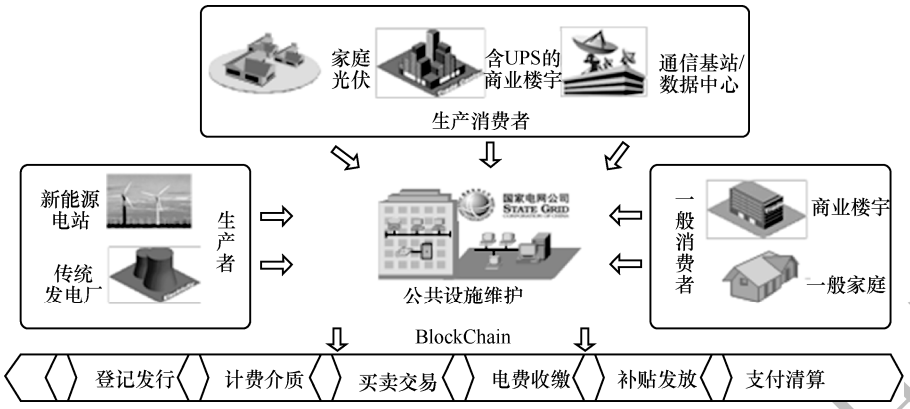


图 1　多方参与的电力交易市场

在电力交易市场上，区块链技术作为一项底层技术，可以支持电力交易过程中的多个环节，具体思路如下。

（1）电力交易计费介质

区块链系统中有一个核心部件——交易介质，在比特币系统中的交易介质就是比特币，以太坊中的交易介质就是以太币。同样，为了促进电力交易区块链多元交易体系中的交易及其他业务，可以考虑设定一种交易介质，用于在区块链多元交易体系中的转移价值、记录交易等各种业务行为。

（2）电力登记发行

由于电能生产和使用是实时的，因此电力的登记发行实际是一个期货登记发行过程。在区块链的多元交易体系中，将电力虚拟化为一种数字资产，并将该资产登记发行到区块链上，用户就像是在购买实际商品一样购买电力，以备未来一段时间内使用。电力登记发行表示未来某个时间，发电厂将能够生产多少电量。

（3）电力买卖交易

电力生产商将电能发行到区块链上即可以进行交易，用户（个人或者企业）可以通过电力交易平台或者直接线下点对点的方式进行电力买卖交易。交易信息包含了买家和卖家以及电价的信息，这些信息都记录在区块链上，因此，不会出现购电不成功的情况，也不会出现电力交易被否认的情况。

（4）电费收缴与补贴发放

电费收缴是传统电力系统的一个重要工作，基于区块链的多元交易体系可以较为轻松地实现电费收缴的任务。在实际使用电能的时候，就可以实时完成电费的收缴工作。电费的收缴可以采用区块链智能合约，将每一个交易的输入分别输出到不同的对象中，如发电厂和输配电网。同时，为了鼓励环保电力能源的生产和消费，对于政府出台的补贴政策需要精准及时发放到电能生产者和消费者手中，基于区块链的电力交易介质就是一种很好的解决办法。由于交易介质具有明确的记账功能，能够清楚地记录交易行为，明确分辨出哪些电能是环保的能源，因此就可以精准地利用交易措施将补贴发放到受益者手中，减去了中间繁杂的手续流程。

（5）电力支付清算

采用交易介质来记录电力交易和消费情况，可以有效缓解电力支付的清算结算压力。电力的价值流转都利用区块链多元交易系统实现，并不与各大银行进行实时对接，实现实时的清算。

2.3　能源互联网中区块链应用面临的挑战

作为近年来兴起并快速发展的新技术，区块链技术必然会面临各种制约其发展的问题和挑战。区块链技术在能源互联网中的应用面临的挑战，主要包括区块链技术自身的技术局限性和相关法律的缺乏或不完善。

2.3.1　区块链自身技术局限性

（1）安全性对于区块链的应用尤为关键

目前区块链技术采用的加密算法、隐私保护机制均面临安全挑战。例如，随着数学、密码学和计算技术的发展，区块链技术的非对称加密机制会变得越来越脆弱。区块链隐私保护也存在安全风险，系统内各节点并非完全匿名，而是通过类似电子邮件地址的地址标识来实现数据传输。虽然地址标识并未直接与真实世界的人物身份相关联，但区块链数据是完全公开透明的，随着各类反匿名身份甄别技术的发展，很可能实现部分重点目标的定位和识别。

版权所有 出版社出版

（2）区块链效率也是制约其应用的重要因素

首先是区块链膨胀问题：区块链要求系统内每个全节点保存一份完整的数据备份，随着区块链长度的不断增加，海量数据的存储成本将会提高，数据的查询检索也会越来越困难。其次是交易效率问题：区块链每秒能够处理的交易量，限制了区块链在大多数金融系统高频交易场景中的应用。最后，区块生成的平均时间以及交易的确认时间，都在一定程度上限制了区块链技术在小额高频交易和时间敏感交易中的应用。

（3）资源风险是区块链技术面临的另一类挑战，其中主要包括信息资源存储挑战和算力资源挑战等

由于区块链会记录从第一笔交易以来所有的交易信息，因此随着节点的增多以及交易量的累积，区块链账本会不断扩大。如果节点要参与共识，就必须下载容量巨大的账本，这会大大提高节点参与共识的硬件资源门槛[21]。区块链信息存储容量的局限可能成为未来区块链应用的阻碍。另外，采用 PoW 机制达成共识的过程中高度依赖节点贡献的算力，这些算力主要用于解决 SHA256 Hash 和随机数搜索，除此之外并不产生任何实际社会价值。一般意义上认为这些算力资源是被“浪费”掉了，同时被浪费掉的还有大量电力资源。因此，如何利用分布式节点的网络算力来解决实际问题，是区块链技术需要解决的重要问题。

（4）区块链网络作为去中心化的分布式系统，各节点在交互过程中不可避免地会存在相互竞争与合作的博弈关系

如何设计合理的机制来抑制非理性竞争，使得合作成为“矿池收益”博弈的稳定解，尚需进一步深入研究。此外，区块链共识过程本质上是众包过程，如何设计激励相容的共识机制，使得去中心化系统中的自利节点能够自发参与区块数据的验证和记账工作，并提高系统内非理性行为的成本以抑制安全性威胁和攻击，也是区块链有待解决的重要问题。

2.3.2 法律监管挑战

应用区块链技术，通常会导致传统业务的逻辑发生改变，主要表现为以下 3 个方面：经营者范围的变化；经营模式的改变；经营角色的改变。这些变化最终又会带来法律适用性问题。

（1）法律适用的不确定性

既有的法律与创新的技术在很多方面难以匹配，原有的法律条文是否适用于新技术是一个需要不断探讨的问题。例如区块链可以利用其很难篡改性，防止电子数据的失真，任何通过互联网实施的行为都被完整、真实地记录在区块中，可以被追踪和查询，解决了数据保存的问题，有助于降低网络犯罪的侦查成本。而现有法律要求网络服务经营者采取屏蔽、删除个人信息等手段，以保护个人隐私权和信息安全。这种新技术的发展与法律规则的不兼容，导致法律适用方面的不确定性。

（2）法律监管空白

区块链技术重构出一种新的信任机制，使得传统交易中的法律关系得到一定程度的简化。随着区块链技术的不断广泛应用，与之相应的法律规则尚未制定出来，此时便出现了法律真空。一旦出现纠纷，如何综合运用技术的专业性和法律手段来加以解决，对立法者、执行者以及企业管理者都提出了更高的要求。

参考文献：

[1] SWAN M. Blockchain thinking: the brain as a decentral-ized autonomous corporation[J]. IEEE Technology & Society Magazine, 2015, 34(4): 41-52.

[2] DAVIDSON E. Hive mentality or blockchain bloat[J]. New Scientist, 2015, 228(3043): 52.

[3] ANONYMOUS. New kid on the blockchain [J]. New Scientist, 2015, 225(3009): 7.

[4] GODSIff P. Bitcoin: bubble or blockchain [M]//Berlin: Springer International Publishing, 2015: 191-203.

[5] 姜红星. 中国电力产业规制改革研究[D]. 北京：中国社会科学院研究生院, 2017.

[6] 肖丹萍. 中国电力行业的市场化改革研究[D]. 北京：中央民族大学, 2016.

[7] WATANABE H, FUJIMURA S, NAKADAIRA A, et al. Blockchain contract: securing a blockchain applied to smart contracts[C]//IEEE International Conference on Consumer Electron-Ics. IEEE, 2016: 467-468.

[8] 长铗, 韩峰. 区块链：从数字货币到信用社会[M]. 北京：中信出版社, 2016: 118-124.

[9] ZYSKIND G, NATHAN O, PENTLAND A. Decentralizing privacy:using blockchain to protect personal data[C]//IEEE Security and Privacy Workshops. IEEE Computer Society, 2015: 180-184.

[10] ALAM M T, LI H, PATIDAR A. Bitcoin for smart trading in smart grid[C]//IEEE International Workshop on Local and Metropolitan Area Networks. IEEE, 2015: 1-2.

[11] MIHAYLOV M, JURADO S, AVELLANA N, et al. NRGcoin: virtual currency for trading of renewable energy in smart grids[C]//11th International Conference on the European Energy Market (EEM14). IEEE Press, 2014: 1-6 .

[12] 韩秋明, 王革. 区块链技术在能源领域的国际实践及启示[J]. 全球

科技经济瞭望, 2018(3): 19-26.
[13] 丁未. 基于区块链技术的仪器数据管理创新系统[J]. 中国仪器仪表, 2015(10): 15-17.
[14] 赵赫, 李晓风, 占礼葵, 等. 基于区块链技术的采样机器人数据保护方法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(S1): 216-219.
[15] KRAFT D. Difficulty control for blockchain-based consensus systems[J]. Peer-to-Peer Networking and Applications, 2016, 9(2): 397-413.
[16] ZYSKIND G, NATHAN O, PENTLAND A S. Decentralizing privacy: using blockchain to protect personal data[C]//IEEE Security and Privacy Workshops. IEEE Computer Society, 2015: 180-184.
[17] 工业和信息化部. 中国区块链技术和应用发展白皮书(2016)[R]. 2016.
[18] 张晓玫, 韩锋. 区块链—量子财富观[M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.
[19] 龚鸣. 高层决策参考[R]. 2017.
[20] 袁勇, 王飞跃. 区块链技术发展现状与展望[J]. 自动化学报, 2016, 42(4): 481-494.
[21] 张宁, 王毅, 康重庆, 等. 能源互联网中的区块链技术: 研究框架与典型应用初探[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(15): 4011-4022.

人民邮电出版社出版

区块链技术在电商系统中的应用

郑斌
（国网电子商务有限公司，北京 100069）

摘　要：区块链技术因为具有去中心化、很难伪造、匿名性等多种优点，已经开始初步应用到金融、征信、物联网、经济贸易结算、资产管理等多个领域中。介绍了区块链技术的应用场景，如分布式账本、物流供应链、区块链存储和数据库，阐述了区块链的核心技术和目前的成熟应用（比特币和以太坊）。

关键词：区块链；分布式网络；比特币

1　引言

目前，区块链技术已经开始进入业务落地阶段，在电商结算系统中，区块链技术会有很大的发展机会，而账本技术，则是未来电商业务的基石。

大到国与国之间的贸易，小到个人的日常消费，都离不开记账这一看似普通，实则却不简单的操作。无论是资金的流转还是资产的交易，实际上都是通过账本技术来实现的。

账本技术，从技术特点来说，大致可以分为 4 个阶段。

- 简单账本：大约出现在公元前 3500 年—公元 15 世纪，使用原始的单式记账法进行记账。
- 复式账本：15 世纪—20 世纪中期，出现了现代的复式记账法，并将这种记账法应用到实际中。
- 电子账本：大约从 20 世纪中期—21 世纪初，得益于计算机技术的迅猛发展，出现了将记账媒介从纸质逐渐演化到计算机中的电子化账本。
- 分布式账本：从 2010 年前后至今，区块链技术的出现，改变了记账的相关思想和技术。

除了分布式账本外，其他的记账方式都使用了“中心化”的管理方式，账本掌握在个体手中，一旦出现数据丢失则无法找回；同时在涉及多个交易方的情况下，需要分别维护各自的账本，容易出现不一致、对账也较困难的情况。由此，很自然地引入了分布式账本技术。

由交易多方一起来共同维护同一个分布式账本；打通交易在各个阶段的来龙去脉；凭借分布式技术，进一步提高记账的效率和可靠性。但在分布式的情况下，如何避免参与方恶意篡改或破坏记录？如何决定该由谁来将交易记录写到账本中？这些问题一直没有得到很好的解答。直到 2009 年 1 月，基于区块链结构的比特币网络悄然问世，此后数年，在分布式的场景下稳定支持了大量的转账业务。这让人们开始认识到，区块链这一极为简洁的数据结构，恰好满足了分布式记账的基本需求。目前，基于区块链结构的分布式账本解决方案，往往被简称为区块链技术。

账本科技经历了数千年的演化，整体发展趋势由简单到复杂、由粗糙到精细、由中心化到分布式，这与运行在其上的业务需求不断变化密不可分。伴随着社会的发展，大规模、高安全、易审计将始终是账本科技应用中最受人们关注的特性。随着社会文明特别是商业活动的进一步发展和成熟，分布式账本科技的需求将变得更加普遍和强烈。分布式账本科技自身也将变得更加成熟和可靠。

2　其他应用场景

时至今日，区块链技术在电商系统中也有了更多的用途。因为它可以在不引入第三方中介机构的前提下，提供去中心化、很难篡改、安全可靠等特性保证。因此，所有直接或间接依赖于第三方担保机构的活动，均可能从区块链技术中获益。针对电商系统，主要的应用场景具体介绍如下。

（1）物流供应链

在供应链系统中，往往会涉及诸多公司以及实体，而这些实体之间存在大量复杂的协作和沟通。目前经常使用的方式是 ERP 系统对接，但对接难度

人民邮电出版社出版

大，跨系统之间互不信任，信息安全没有保障，一旦出现问题，难以追查和处理。通过区块链私有链技术，所有相关各方可以获得一个相对透明和统一的信息平台，降低物流成本，并且可以追溯之前生产、运输等全过程。一旦发现问题，追溯问题也变得更加简单。

（2）区块链存储和数据库

在目前电商系统中，包含多个大型模块的数据，需要为这些数据建立庞大的数据库，不仅仅需要保障数据的网络通路，还要保障数据库存储介质的安全性和可靠性。共同记录的共享账本，数据在多方之间的流动将得到实时的追踪和管理。通过对敏感信息的脱敏处理和访问权限的设定，区块链可以对数据的共享授权进行精细化管控，规范和促进数据的交易与流通。由于多节点的存在，也可以避免产生由于某种介质或者网络问题，造成的数据库损失。

3 核心技术

（1）分布式系统

首先，区块链技术是一种分布式系统，那么第一个问题就是数据一致性问题，如果一个分布式集群没有办法保证结果的一致性，那么所有建立在这个分布式集群上的业务都无法正常开展。

基于 CAP 理论，既然 CAP 不能同时满足，在系统设计时，必然要弱化某个特性的支持。

弱化一致性：对结果一致性不敏感的应用，可以允许在新版本上线后过一段时间才更新成功，其间不保证一致性。例如网站静态页面内容、实时性较弱的查询类数据库等，CouchDB、Cassandra 等为此设计。

弱化可用性：对结果一致性很敏感的应用，例如银行取款机，当系统出现故障时会拒绝服务。MongoDB、Redis 等为此设计。Paxos、Raft 等算法，也主要处理这种情况。

弱化分区容忍性：现实中，网络分区出现概率减小，但较难避免。某些关系型数据库、ZooKeeper 即为此设计。实践中，网络通过双通道等机制增强可靠性，实现高稳定的网络通信。

（2）数据安全

由于区块链中所有的块，除了创世块以外，其他所有的块都是同级别的，所以不存在块的权限问题，所有的块、所有的节点都可以存储。那么如果没有一个安全机制来保障数据安全，就会造成数据的篡改。为了解决这个问题，区块链通常会使用 Hash 算法与数据摘要技术、消息认证码与数字签名技术、数字证书、同态加密等多种加解密技术来保障数据的安全性。

4 目前成熟应用

（1）比特币

比特币（BitCoin，BTC）是基于区块链技术的一种“数字货币”；比特币网络是历史上首个经过大规模长时间检验的数字“货币系统”。比特币网络中总区块数接近 48 万个。

比特币网络在功能上具有如下特点。

- 匿名性：比特币网络中账户地址是匿名的，但这也意味着很难进行审计。
- 通胀预防：比特币的发行需要通过挖矿计算进行，发行量每 4 年减半，总量上限为 2 100 万枚，无法被超发。

（2）以太坊

以太坊（Ethereum）项目的最初目标，是打造一个运行智能合约的平台（platform for smart contract）。该平台支持图灵完备的应用，按照智能合约的约定逻辑自动执行，理想情况下将不存在故障停机、审查、欺诈以及第三方干预等问题。

以太坊平台目前支持 Golang、C++、Python 等多种语言实现的客户端。由于核心实现上基于比特币网络的核心思想进行了拓展，因此在很多设计特性上都与比特币网络十分类似。

基于以太坊项目，以太坊团队目前运营了一条公开的区块链平台——以太坊网络。智能合约开发者使用官方提供的工具和以太坊专用应用开发语言 Solidity，可以很容易开发出运行在以太坊网络上的“去中心化”应用（decentralized application，DApp）。这些应用将运行在以太坊的虚拟机（Ethereum virtual machine，EVM）里。用户通过以太币（Ether）来购买燃料（Gas），维持所部署应用的运行。

5 结束语

本文只是简略地介绍了区块链概念的来龙去脉和关键技术原理。在区块链的技术上，展望了一些基于区块链技术在电商平台上的实现。希望能够抛砖引玉，推动区块链技术的早日成熟和更多应用场景的出现。

区块链技术在能源互联网与电子商务中的应用

朱兴雄[1,2]，韩庆芝[1,2]，李宏伟[1,2]

（1. 国网电子商务有限公司，北京 100053；2. 国网电力金融与电子商务实验室，北京 100053）

摘　要：深入分析了区块链平台的关键技术，并结合能源互联网与电子商务应用实践，提出了“一个平台、三个中心、多个应用”的区块链应用技术体系。构建出能源互联网与电子商务区块链平台的应用架构、技术架构、集成架构和安全架构，以支撑区块链技术的广泛深入应用。

关键词：区块链；区块链技术；能源互联网；电子商务；技术架构

1　引言

为了保证能源的可持续发展，我国迫切需要推动能源革命，而能源互联网被认为是未来能源的可持续发展解决方案，能源互联网被视作推动我国实现能源变革的关键技术平台[1]。区块链作为“数字货币”的底层技术，其核心是具有安全加密、共识机制和智能合约的点对点分布式账本[2]。同时，其作为一种具有普适性的底层技术框架，除了在“数字货币”领域应用外，还可以为金融、经济和能源等领域带来深刻变革[3]。

作为前沿技术的能源互联网和区块链均是目前研究的热点，并且也分别取得了初步成果。区块链在能源领域的发、输、配、用、储等环节的应用场景分析，和业务模式重构，尚处于初步探索阶段[4]。

本文区块链应用研究，分 3 个层面：一是区块链关键技术研究；二是构建能源互联网与电子商务区块链技术平台的原则、目标及内容；三是能源互联网与电子商务区块链平台应用的架构设计与实现。

2　区块链关键技术

区块链技术演进，从技术起源、“区块链 1.0”到“区块链 2.0”，现在“区块链 3.0”的概念也初步提出。区块链技术进化[5]如图 1 所示。

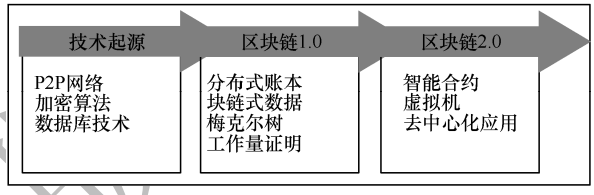


图 1　区块链技术进化图

2.1　分布式账本

区块链系统避免了中心化系统篡改数据的可能性。同时，由于多节点参与记账，数据备份足够多，杜绝了数据丢失，保证了账目数据的安全性[6]。

2.2　加解密算法

（1）散列算法

散列（Hash）算法把任意长度的输入变换为固定长度的输出，是一种映射，可以把 Hash 理解为给定数据的“指纹信息”。

（2）非对称加密算法

非对称加密算法中，公钥是公开的，私钥个人持有。数据传输前只需要交换公钥，即使公钥泄露也不影响安全性。

2.3　共识机制

共识机制是区块链技术的核心组成之一，以下是常用的几种共识机制。

（1）工作量证明（proof of work，PoW）

PoW 以完成数学运算为基础，缺点是面临算力攻击风险，需要等待后续的多个区块产生后才能最终确认。

（2）权益证明（proof of stake，PoS）

节点记账权与节点持有的权益相关。

（3）股份授权证明（delegated proof of stake，DPoS）

节点选举若干代理节点，代理节点参与记账。缺

基金项目：国网电子商务科学技术资助项目“国网电商公司 2018 年区块链平台深化研究及应用科技项目”（No.SGEC-2018-FF03-WZ-02-2）

点是增加了选出代理节点过程。

（4）实用拜占庭容错（practical Byzantine fault tolerance，PBFT）

实用拜占庭容错，将容错量控制在 1/3 内，只要系统 2/3 的节点正常，就能维持整个系统正常运转。

2.4 智能合约

智能合约即数字化承诺与协议，如果状态机的突发条件满足，根据预设信息，合约自动执行。

3 目标与原则

3.1 区块链应用研究目标及内容

区块链技术在能源互联网与电子商务中的应用研究目标与内容，包括“一个平台、三个中心、多个应用”。

- 一个平台，指能源互联网与电子商务区块链平台。
- 三个中心，指区块链服务中心、资产交易中心、监控中心。
- 多个应用，指定位于构建能源互联网与电子商务区块链基础平台、助力能源互联网及电商的全业务应用，通过区块链接口及网站向外提供服务。

3.2 区块链应用原则

从网络、系统、业务 3 个层面设计区块链在能源互联网与电子商务中的应用场景，遵从创新、实用、高效和安全的原则。

4 应用架构

能源互联网区块链编程接口，包括应用编程接口 API、软件开发工具包 SDK 等。提供应用调用接口和开发实现支持，建立对决算审计、分布式能源交易结算等业务的支撑能力。

4.1 能源互联网区块链服务

（1）账户

不同账户由不同区块链地址所代表。

（2）区块链服务

整合分布式账本、智能合约、共识服务、P2P 协议、区块存储和加密算法等核心技术，提供区块链服务。

（3）分布式账本

区块链数据的验证、记账等基于分布式系统，多个节点协同记账。

（4）区块存储

提供区块头、区块体的定义和账本数据的存储。

（5）P2P 协议

对等协议实现节点间基础组网和通信，实现动态自组织网络。

（6）共识服务

共识算法，是区块链与传统分布式系统的重要区别。

（7）智能合约

智能合约是商业逻辑的算法实现。

（8）加密算法

加密算法优先采用国密算法。

（9）管理

提供区块链浏览器，实时观察整个区块链底层存储的数据信息，包括区块信息、账户信息和交易信息等。可视化运维，支持业务、网络、系统 CPU、内存和磁盘的可视化信息监控，提供日志和告警机制。

4.2 能源互联网与电子商务区块链应用编程接口

区块链应用编程接口，包括用户中心、区块链服务、交易、事务、策略和管理等接口。

4.3 能源互联网与电子商务区块链应用

能源互联网中存在大量的智能发、输、配、用和储能设备，通过一系列的智能合约保证能源互联网的交易安全自动执行[7]。

能源互联网区块链的块链结构，能够满足不同业务领域的需求，提高系统的可扩展能力。支持资产数字化，记录电力资产和资产转移，提供很难篡改的记录和账本，支持溯源以跟踪电力商品流通、资产流转和交易流程。

区块链平台支持供应链金融、统一积分[8]、商品溯源、电力商城、电力金融、征信系统和电子票据等应用。

5 能源互联网与电子商务区块链平台技术架构

在广泛研究国际、国内区块链技术的基础上，参照工业和信息化部《中国区块链技术和应用发展白皮书》的要求，结合能源互联网与电子商务应用实践，提出区块链技术架构，如图 2 所示。

5.1 核心技术组件

核心技术组件包括共识机制、安全机制、存储和通信等组件。

服务器节点间通信协议，构成通信组件。

以分布式账本的方式存储，区块包括区块头与区块体。

通过共识机制达成数据有效性及协同记账。

人民邮电出版社出版

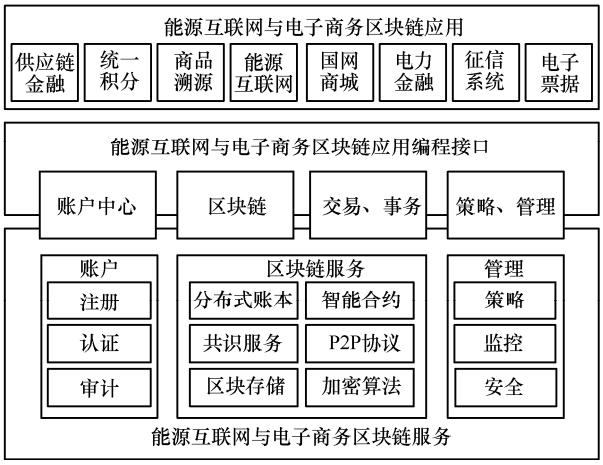


图 2　能源互联网与电子商务区块链技术架构

加密算法、散列算法是安全的保证。

5.2　核心应用组件

核心应用组件提供了针对能源互联网与电子商务区块链应用场景的功能组件，供能源互联网与电子商务应用调用。允许互联网金融智能交易，支持能源互联网交易安全自动执行。对于能源互联网与电子商务联盟链和专有链，提供成员管理功能。

5.3　配套设施

在研发阶段及生产阶段需要建立配套的工具、环境、运维及管理体系。

6　平台集成架构

区块链平台与其所支撑的应用存在集成关系，包括供应链金融平台、积分平台、征信平台、电子商城和电 e 宝等。集成架构如图 3 所示。

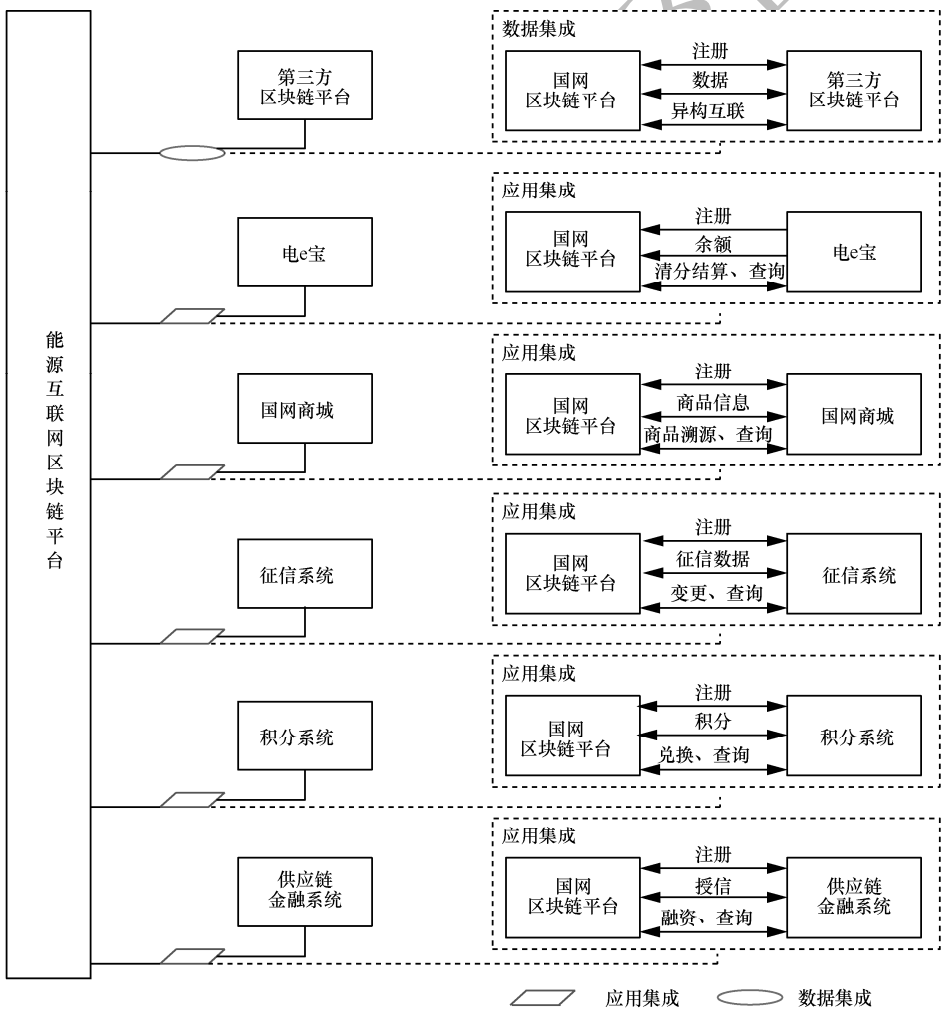


图 3　能源互联网与电子商务区块链应用集成架构

7 平台安全架构

从加密算法、密钥分发管理、智能合约等方面提升系统的安全性。从数据安全、管理安全和应用安全等多个维度多管齐下，共同为区块链应用提供坚实的安全基础。能源互联网与电子商务区块链系统安全架构如图 4 所示。

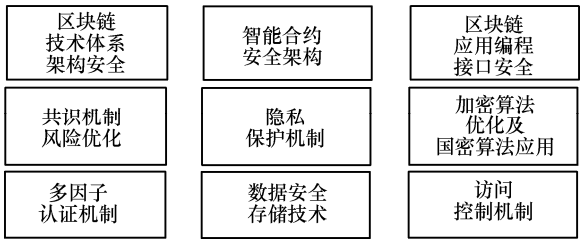


图 4　能源互联网与电子商务区块链系统安全架构

8 结束语

本文深入分析了区块链平台的关键技术，结合能源互联网与电子商务应用实践，提出了“一个平台、三个中心、多个应用”的能源互联网与电子商务区块链技术应用体系。构建出能源互联网与电子商务区块链平台的应用架构、技术架构、集成架构、安全架构，以支撑区块链技术的广泛深入应用。

参考文献：

[1] 曾鸣, 白学祥, 李源非, 等. 基于复杂适应系统理论的能源互联网演化发展模型、机制及关键技术[J]. 电网技术, 2016, 40(11): 3383-3390.

[2] 朱兴雄, 何清素, 郭善琪. 区块链技术在供应链金融中的应用[J]. 中国流通经济, 2018, 32(3): 111-119.

[3] 曾鸣, 程俊, 王雨晴, 等. 区块链框架下能源互联网多模块协同自治模式初探[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(13): 3672-3681.

[4] 王安平, 范金刚, 郭艳来. 区块链在能源互联网中的应用[J]. 电力信息与通信技术, 2016(9): 1-6.

[5] 工业和信息化部. 中国区块链技术和应用发展白皮书(2016) [R]. 2016.

[6] PASS R, SEEMAN L, SHELAT A. Analysis of the blockchain protocol in asynchronous networks[C]//International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques, Apr 29, 2018, Tel Aviv, Israel. Berlin: Springer, 2017: 643-673.

[7] LI Z, KANG J, YU R, et al. Consortium blockchain for secure energy trading in industrial internet of things[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2017(99): 1.

[8] WANG B, ZHU X, HE Q, et al. The forecast on the customers of the member point platform built on the blockchain technology by ARIMA and LSTM[C]//2018 IEEE 3rd International Conference on Cloud Computing and Big Data Analysis (ICCCBDA), April 20-22, 2018, Chengdu, China. Piscataway: IEEE Press, 2018: 589-593.

人民邮电出版社出版

人工神经网络在电力系统短期负荷预测中的应用

钟超，刘伟策
（国网浙江省武义县供电有限公司，浙江 金华 321200）

摘　要：首先介绍了人工神经网络（ANN）的原理及算法，然后将基于 ANN 的负荷预测方法应用在电力系统短期负荷预测的实例运用中，通过实际的数据及图模显示将 ANN 法与传统经验型的负荷预测方法进行试验结果对比来验证两种预测方法的准确性与实用性。

关键词：人工神经网络；短期负荷预测；数模对比

1　引言

负荷预测与电力系统的安全、稳定、经济运行息息相关，预测结果与电网实际负荷的相对误差大小直接影响电力系统的安全运行、生产安排和经济调度，尤其在以小时为单位的短期负荷预测技术更是调度管理部门进行开停机计划以及在线安全分析的有力依据[1]。传统的时间序列方法曾被广泛应用于工作日的负荷预测，优点是原理及数学模型成熟，操作应用简便，能根据历史负荷数据及干扰值来推算未来负荷的大致走向，独立性较强；缺点是周末、节假日及特殊天气情况下的预测精度不容乐观，往往需要依靠人工校正。因此，具有高度顽健性的人工神经网络（artificial neural network，ANN）方法[2-3]应运而生，在异常复杂的非线性关系短期负荷预测方面具有很好的效果。

人工神经网络技术给电网负荷预测带来了一种新型、前沿的研究方向。现已广泛运用于电力系统负荷预测中，相比于传统方式的预测手段，ANN 并不依赖于人为的经验而是通过算法训练，独立自主地学习系统模型的输入值与输出值之间的函数关系。不过，最初的 ANN 模型需要通过对历史数据进行学习，将数据存储，形成一个数据库，以后只需要输入预测条件即可运用 ANN 进行负荷预测，方便快捷。

2　人工神经网络的原理及算法

2.1　ANN 的工作原理

人工神经网络是由许多简单的基本神经元小单元相互连接构成的自适应非线性动态系统。如图 1 所示，每个神经元实际上是简化模拟生物神经元，并作为神经网络的基本处理单元，它是一种多输入、单输出的非线性元件模型，其输入、输出的关系可表示：

$$I_i = \sum_{i=1}^{n} w_{ij} x_i - \theta_i \tag{1}$$

$$y_i = f(I_i) \tag{2}$$

其中，y_i 表示神经元 i 的输出，$x_i(i=1,2,3,\cdots,n)$ 是从其他细胞传来的输入信号，θ_i 为阈值，$w_{ij}\,w_{ij}$ 表示从细胞 i 到细胞 j 的连接权值，f(*)称为传递函数。

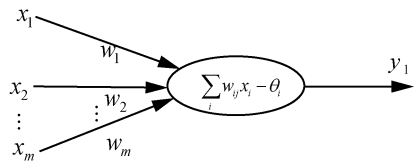


图 1　人工神经元模型

要实现从单一的神经元细胞模型到人工神经网络的模型[4-5]构建，需要依靠一种可靠的算法，依据多年的算法实践及对比可知，BP 反向传播算法是最适合人工神经网络进行短期负荷预测的。

大量人工神经网络模型中，根据连接方式不同可以将其分为前馈型和反馈型两类，本文所研究并运用的是前馈神经网络模型[6]。如图 2 所示，无反馈前向网络的神经元分层排列，依次为输入层、隐含层和输出层。每一层神经元只能接收前一层的输出，数据输入经过各层的顺序变换得到输出层的输出。

前馈型神经网络的基本原理是：每个神经元之间是由权值连接并相互作用的，ANN 在使用之前必须确

人民邮电出版社出版

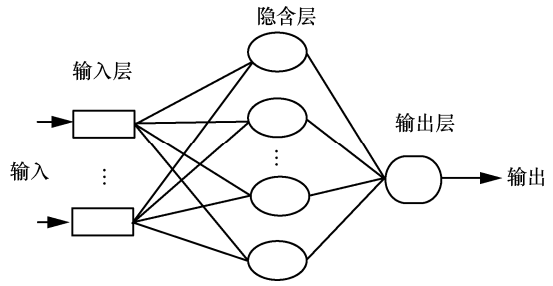


图 2　前馈神经网络结构

定这些权值，而没有经过训练的 ANN 权值是没有使用价值的，当训练好后，只需输入数据，立即会得到输出，因此，这种方法适用于多时预测负荷，速度很快。ANN 的学习过程就是通过已知数据确定权值的过程。即通过这些权值使其具有了记忆功能，对一些数据的规律进行记忆（信息保存在权值中），可以用于以后的预测。从已知数据确定权值是一个无约束最优化问题，典型的算法是 BP 法（最速下降法），对于前馈神经网络模型还有许多其他权值修正方法，如拟牛顿法、遗传算法等。

2.2　算法模型[7]

BP 反向传播算法计算推导过程如下：假设网络具有 m 层，令 y_j^m 表示第 m 层第 j 个节点的输出，而 y_j^0 就等于 x_j，即第 j 个输入。令 w_{ij}^m 表示从 y_j^{m-1} 到 y_j^m 的连接权，θ_j^m 表示第 m 层第 j 个节点的阈值，BP 网络训练步骤如下。

步骤 1　初始化，选定合理的网络结构，置所有可调参数（权值和阈值）为均匀分布的较小数值。

步骤 2　对每个输入样本作如下计算。

（1）前向计算：对第 l 层的 j 单元：

$$v_j^{(l)}(n)=\sum_{i=0}^{p} w\sum_{ji}^{(l)}(n)y_i^{(l-1)}(n) \tag{3}$$

其中，$y_i^{(l-1)}(n)$ 为前一层的单元 i 送来的工作信号（i=0 时置 $y_0^{(l-1)}(n)=-1$，$w_{(j0)}^1(n)=\theta_j^{(l)}(n)$），若单元 j 的作用函数为 sigmoid 函数，则：

$$y_j^{(l)}(n)=\frac{1}{1+\exp(-v_j^{(l)}(n))} \tag{4}$$

并且：

$$\varphi_j'(v_j(n))=\frac{\partial y_j^{(l)}(n)}{\partial v_j(n)}=\frac{\exp(-v_j^{(l)}(n))}{1+\exp(-v_j^{(l)}(n))}$$
$$=y_j^{(l)}(n)(1-y_j^{(l)}(n)) \tag{5}$$

若神经元 j 属于第一隐层（即 $l=1$），则有：

$$y_j^{(0)}(n)=x_j(n) \tag{6}$$

若神经元 j 属于输出层（1–L），则有：

$$y_j^{(L)}(n)=O_j(n),e_j(n)=d_j(n)-O_j(n) \tag{7}$$

（2）反向计算 δ

对输出单元：

$$\delta_j^{(L)}(n)=e_j^{(L)}(n)O_j(n)(1-O_j(n)) \tag{8}$$

对隐单元：

$$\delta_j^{(L)}(n)=y_j^{(l)}(n)[1-y_j^{(l)}(n)]\sum_k \delta\sum_k^{(l+1)}(n)w_{kj}^{(l+1)}(n) \tag{9}$$

（3）按式（10）修正权值：

$$w_{ji}^{(l)}(n+1)=w_{ji}^{(l)}(n)+\eta\delta_j^{(l)}(n)y_i^{(l-1)}(n) \tag{10}$$

其中，$n=n+1$，输入新的样本（或新周期样本），最终导出预测模型。

以每天的观测数据组成样本 $P_i=(x_{i1},x_{i2},\cdots,x_{im})$，$m$ 表示采样间隔，通常取 96。如果是若干天数观测数据，则可组成样本集：

$$P=(P_1,P_2,\cdots,P_n) \tag{11}$$

设负荷预测为短期日预测，则预测可表示为：

$$P_{i+1}=\psi(P_i) \tag{12}$$

其中，映射蕴含于网络结构中，需要通过建立训练集进行训练得到合适的映射。

3　实验结果验证

以某县 2018 年 6 月 15—30 日整点有功负荷值为 ANN 的训练样本，分别用 ANN 预测法和传统负荷预测法对 7 月 1 日 24 h 的电力系统全网总加有功负荷 P 进行预测，结果见表 1。同时，将传统人工的负荷预测与 ANN 预测结果进行对比，结果如图 2 所示。

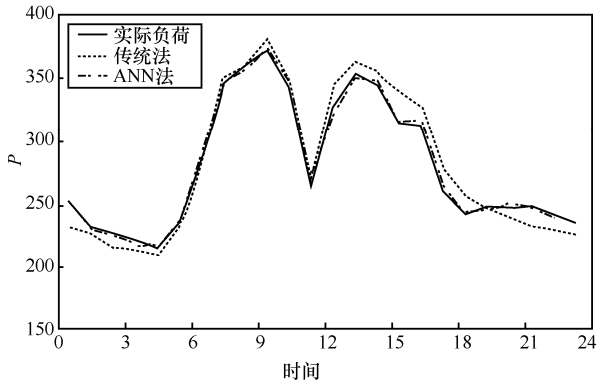


图 2　全网负荷预测曲线对比

表 1　实验结果数据对比（单位：MW）

时间点	实际值	传统法	ANN 法	时间点	实际值	传统法	ANN 法
1	251.81	231.45	250.63	13	325.57	345.57	321.65
2	231.52	225.25	229.44	14	353.37	363.37	350.54
3	227.82	216.15	225.20	15	345.25	355.25	348.67
4	220.73	212.75	218.31	16	314.68	338.68	315.51
5	214.44	208.41	215.99	17	312.03	327.03	316.27
6	235.22	230.44	233.78	18	260.78	277.78	264.11
7	283.33	281.69	281.11	19	241.71	256.71	242.90
8	345.07	350.78	344.94	20	247.01	246.54	245.26
9	360.68	361.12	356.24	21	246.58	239.85	249.99
10	372.70	381.33	374.27	22	248.03	231.88	247.25
11	342.78	349.19	349.43	23	242.31	229.64	240.10
12	263.65	268.66	266.37	24	234.92	225.29	236.39

4　结束语

在电力系统短期负荷预测的实例运用中，基于人工神经网络的负荷预测方法在预测精度和便捷性上明显优于传统预测法，可以提高工作效率与短期负荷预测的可靠性，完全可以运用于电力系统短期负荷预测。

参考文献：

[1] 贺辉. 电力负荷预测和负荷管理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2013: 51-52.

[2] 苏尤丽. 基于人工神经网络的微电网短期负荷预测[J]. 内蒙古师范大学学报, 2016, 45(1): 43-45.

[3] 高隽. 人工神经网络原理及仿真实例[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.

[4] 冯煜坤, 张仰飞, 李玮, 等. 电力系统短期负荷预测的改进 SG 神经网络算法比较[J]. 南京工程学院学报, 2015, 13(1): 53-57.

[5] 李龙, 魏靖, 黎灿兵, 等. 基于人工神经网络的负荷模型预测[J]. 电工技术学报, 2015, 30(8): 225-230.

[6] YUAN R F, AI Q, HE X. Research on dynamic load modeling based on power quality monitoring system[J]. IET Generation Transmission & Distribution, 2013, 7(1): 46-51.

[7] YING L C, PAN M C. Using adaptive network based fuzzy inference system to forecast regional electricity loads[J]. Energy Conversion and Management, 2008, 49(2): 205-211.

人民邮电出版社出版

人脸识别技术在国网电商的应用

樊涛[1,2]，徐彧[1,2]，石欣[1,2]，李宏伟[1,2]
（1. 国网电子商务有限公司（国网雄安金融科技集团有限公司），北京 100053;
2. 国家电网有限公司电力金融与电子商务实验室，北京 100053）

摘　要：从提升国网电商各平台用户体验的角度出发，阐述了引入刷脸登录功能的必要性。之后介绍了人脸识别的算法原理及国网电商人脸识别系统的整体架构；并据此设计了新的用户注册和登录流程；测试结果显示刷脸登录的成功率高于 99%，登录耗时约为 5 s；最后，对系统的应用进行了总结和展望。

关键词：国网电商；人脸识别；刷脸登录

1　引言

国网电子商务有限公司自 2016 年 1 月成立以来，以电力缴费、电力服务、B2B 采购、跨境电商、互联网金融为着力点，打造集公用事业缴费、产业协同发展、金融创新服务等线上线下服务功能为一体、特色鲜明、模式领先的央企电子商务平台，目前已建设完成“电 e 宝”、国网商城、商旅云等九大平台。在这些平台的运营过程中，用户登录的过程必不可少。

传统的用户登录采用“用户名+密码”的方式实现，但简单的密码容易被破解，复杂的密码又容易遗忘，登录的不便造成用户体验降低。人脸识别技术是基于人的脸部特征信息进行身份认证的技术，具有非接触性、随身携带、非强制性、识别速度快等优点。相对于指纹和虹膜识别，人脸识别不依赖于特定的数据采集设备，适用性更强。随着深度学习的兴起[1-3]，人脸识别技术的应用已经走出实验室[4-6]，全面进入人们的生活。

2　算法原理

人脸识别技术是一个被广泛研究的热门技术，早在 20 世纪 50 年代就展开研究，目前已经历了 3 个阶段。早期主要基于模板匹配和子空间投影算法，后来主要采用了“人工特征+分类器”的方法，近几年开始采用基于深度学习的方法。

国网电商成立以来，坚持以科技带动发展，积极进行新技术的研发与应用，开发了基于深度学习方法的人脸识别系统，实现端到端人脸识别，该技术主要包含人脸检测、人脸对齐和 1:1 人脸比对 3 个模块。

人脸检测基于 MTCNN 算法[7]从图像中定位人脸位置。MTCNN 采用 3 个级联的多任务卷积神经网络进行人脸五官特征点检测，分别是 proposal network（P-Net）、refine network（R-Net）和 output network（O-Net），每个多任务卷积神经网络均包含 3 个学习任务，分别是人脸分类、边框回归和关键点定位。其流程可以分为 4 个阶段：

首先，将图像缩放到不同尺度，形成图像金字塔；

然后，利用 P-Net 生成人脸区域的候选窗口和边界框的回归向量（bounding box regression vector），并用该边界框做回归，对候选窗口进行校准，随后通过非极大值抑制（non maximun suppression，NMS）合并高度重叠的候选框；

再次，将 P-Net 得出的候选框送到 R-Net，拒绝掉“虚假的”窗口，继续使用 bounding box regression 和 NMS 合并，得到更为准确的候选框；

最后利用 O-Net 输出最终的人脸框和 5 个关键特征点（左眼、右眼、鼻子、左嘴角、右嘴角）的位置。

拍摄角度的差异和用户表情的不同，会造成人脸图像的变形，将对人脸比对的性能造成影响，需要将人脸图像都变换到一个统一的角度和姿态，这就是人脸对齐。根据人脸检测步骤输出的关键点，对人脸图像进行对应的关键点的相似变换[8]（similarity transform），将人脸尽可能变换到标准人脸。

1:1 人脸比对基于 Inception-ResNet[6,9]。该算法将 inception 模块的卷积层输出添加到输入，引入残差连接，加快网络训练速度。此外，针对 Facenet 算法[5]

人民邮电出版社出版

收敛速度慢的问题，该算法先采用归类器实现网络的预训练，后续再移除归类器，采用 Triplet Loss 作为代价函数进行微调（finetune），在 LFW 数据集上的准确性达到 99.65%。

3 系统架构设计

人脸识别系统架构设计包括了系统的逻辑架构和安全策略。系统采用模块化设计，便于后续扩展。通过私有化部署、随机活体检测等技术，降低系统应用风险。

3.1 逻辑架构

人脸识别系统分成人脸识别云平台和无线接入端两个部分，如图 1 所示。

（1）人脸识别云平台

人脸识别云平台采用云化部署，包括三大中心和一个图像数据库。

a）管理中心：实现平台状态监控、参数管理、日志管理、授权管理等功能。

b）识别中心：实现图像中的人脸位置检测、对齐及 1:1 人脸比对功能，是人脸识别云平台和核心。

c）接口中心：实现业务对接、对比阈值设置、数据库配置、负载均衡等功能。为适应国网电商业务的迅速增长，人脸识别云平台需要能应对数百级的并发处理。系统采用全局负载均衡的解决方案，综合考虑虚拟机的 CPU 和内存占用率，进行识别服务任务的分配。人脸对比结果以 JSON 字符串的形式对外输出。

d）图像数据库采用 Hadoop 分布式文件系统（HDFS）搭建，实现流形式的图像存储和访问，以适应超大数据集的应用。

（2）无线接入端

在应用前端中嵌入活体检测的 SDK，支持眨眼、点头、张嘴等多种动作的检测。检测到活体动作后，在视频流中抽取一张高质量的人脸图像（无光斑和抖动影响），并对图像加密处理后上传至业务系统。

3.2 安全策略

人脸识别技术的应用，一方面给用户带来新的便利体验，另一方面又会引入新的风险。用户的人脸和身份证照片涉及用户隐私，一旦泄露后果非常严重。不怀好意者如果利用他人的照片或视频进行攻击，会造成用户的财产损失。以“电 e 宝”为例，用户登录成功后，小额支付操作是“免密的”，如果不怀好意者使用他人的用户名和照片或视频完成登录，就可以“盗刷”别人的财产。

国网电商人脸识别系统针对上述风险，采用的安全防护策略包括以下几种。

（1）私有化部署

人脸识别系统部署在内网，只对公司内部的业务提供服务，不对外提供接口。用户只能访问业务系统，上传的人脸和身份证照片，通过业务系统透传至国网电商人脸识别云平台，最大限度地减小识别平台受到网络攻击的情况。

（2）随机动作的活体检测

人脸识别系统支持眨眼、张嘴、点头等多种动作的检测。用户登录时，系统提示用户所做的动作是随机的，用户需要在预定的时间内按照系统提示，做相应的动作，以完成用户本人操作的鉴定。随机动作活体检测区别于传统的固定动作活体检测，对视频攻击的防范更加有效。

（3）加密传输和存储

人脸和身份证图像在传输和存储前都进行加密处

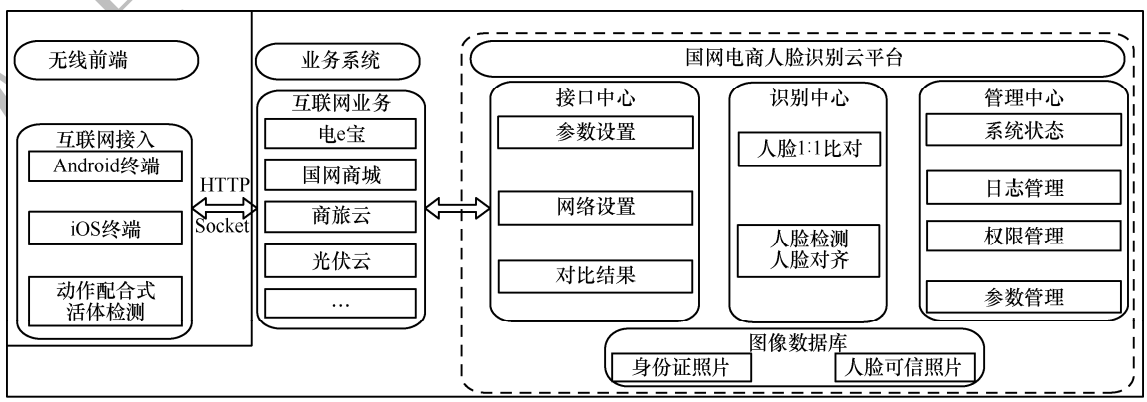


图 1　人脸识别系统逻辑构架

理，接口中心对图像解密后进行对比。在接口中心实现图像解密有利于各业务系统独立安排自己的密钥策略。

（4）实名制

用户需要完成实名认证后，才能开通刷脸登录功能。通过身份证鉴真和本人操作的确认（活体检测和人脸比对），降低“盗刷”风险。

4 注册和登录流程设计

国网电商“电 e 宝”平台是以便民“收费+服务”为核心的一站式综合民生服务平台，而国网电商平台涵盖物资电商化采购、电动汽车网销和跨行业积分通存通兑的业务，国网商旅云则是集“申请、预定、报销”于一体的商旅“一站式”服务平台，面向员工提供专业、优质的商旅服务。用户享受这些平台提供的服务，需要首先完成登录认证。利用人脸识别技术实现用户的登录认证，和传统方式有所不同，需要设计新的用户认证流程。

刷脸登录的流程包含两个环节，用户首先要完成实名注册，以开启刷脸登录功能，然后才可以享受刷脸登录的便利。

4.1 注册流程

用户实名注册流程如图 2 所示，主要包括：

（1）用户利用终端进行实名注册，填写用户名、密码等信息并上传身份证照片给业务系统；

（2）业务系统将身份证照片上传至公安部或人民银行的身份证验证平台，进行核查。如果核查通过，则在上述部门获取可信照片，存入图像数据库，并指示用户进行下一步操作；否则，提示用户身份证无效；

（3）应用程序（App）提示用户做微小的面部动作，并在确认用户做出相应动作后，抽出人脸最佳质量照片，上传至人脸识别云平台；

（4）人脸识别云平台将上传照片与数据库里存储的可信照片进行对比，并将结果上传至业务系统；

（5）业务系统根据人脸图像的对比结果，结果一致则提示用户实名注册成果。

4.2 登录流程

用户刷脸登录流程如图 3 所示，主要包括：

（1）用户输入用户名并选择刷脸方式进行登录；

（2）App 提示用户做微小的面部动作，并在确认用户做出相应动作后，抽出人脸最佳质量照片，上传至人脸识别云平台；

（3）人脸识别云平台根据用户名在图像数据库中获得相应的可信照片；

（4）将上传照片与可信照片进行对比，并将比对结果上传至业务系统；

（5）业务系统根据人脸图像的对比结果，比对结果一致则跳转至相应的业务界面。

5 测试及应用

系统开发和应用过程中，进行了并发性、登录成功率和时延等一系列的测试，以制定部署方案，优化系统性能。

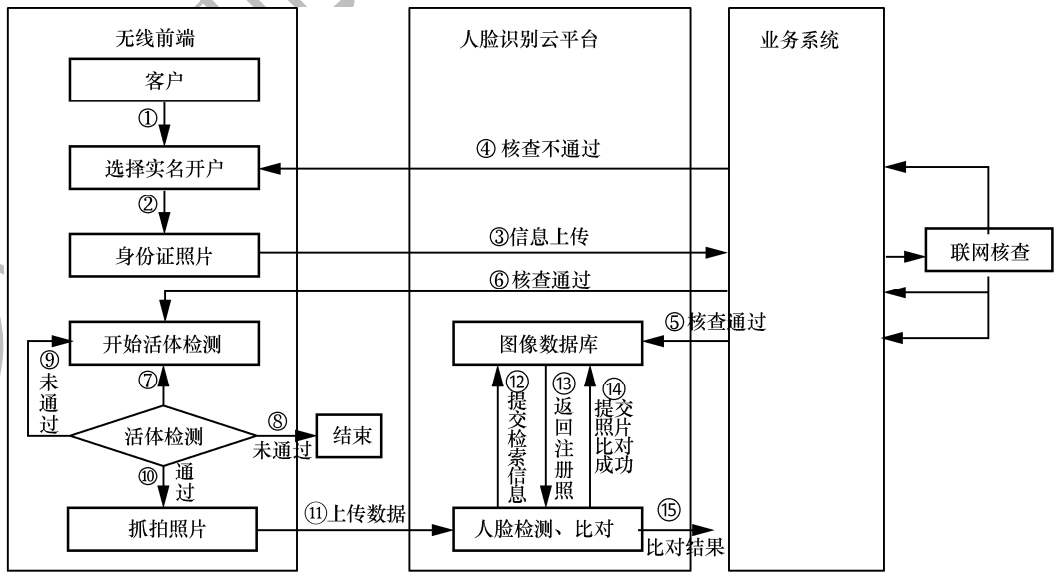


图 2　用户实名注册流程

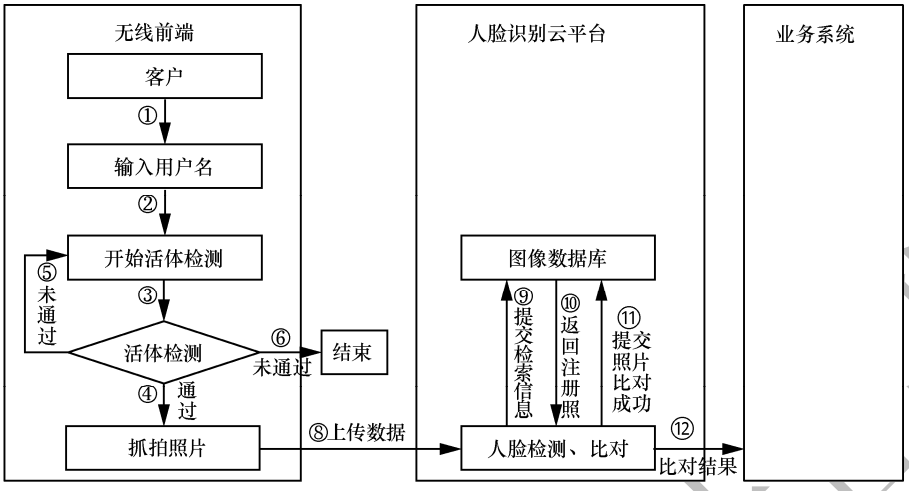


图 3　用户刷脸登录流程

5.1　并发测试

利用测试工具 JMeter 3.1，在虚拟机 1（2 核 CPU 主频 2.8 GHz，8 MB 内存）和虚拟机 2（4 核 CPU 主频 2.8 GHz，8 MB 内存）对系统的并发性能进行测试，结果见表 1 和图 4。表 1 中的并发数指输入的 1 对（2 张）照片，TPS（每秒处理量）指每秒输出的图像比对数量。

表 1　虚拟机 1 并发测试结果

序号	并发数	错误率	响应时间/ms	TPS/s	CPU 占用率
1	1	0	563	1.6	65%
2	2	0	577	3.1	70%
3	3	0	659	4.5	70%
4	4	0	843	4.7	70%
5	5	0	883	4.8	75%
6	6	0	912	4.8	75%
7	7	0	981	4.8	75%
8	8	0	970	4.8	80%
9	9	0	990	4.8	80%
10	10	0.3%	1121	6.2	N/A
11	20	1%	1262	7.2	N/A
12	50	2.3%	N/A	N/A	N/A

通过虚拟机 1 测试结果可以看出，随着输入并发数的提高，CPU 的占用率提高，响应时间变长。当输入并发数在 5~9 之间时，系统每秒的处理量（TPS）为 4.8；此后再提升输入的并发数，系统开始出现错误信息，CPU 的占用率达到 100%并大幅波动。

虚拟机 2 增加了 CPU 的数量，系统的 TPS 数随之增加。当输入并发数为 10 时，系统的 TPS=9.5 达到饱和。

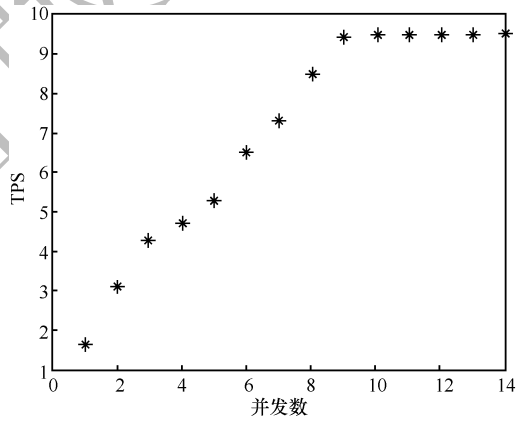


图 4　虚拟机 2 并发测试结果

基于上述测试结果，国网电商人脸识别云平台采用云化部署，识别中心的每台虚拟机，采用 4 核 CPU 主频 2.8 GHz，8 MB 内存的硬件配置，并行处理量限定为 9 TPS。人脸识别云平台根据业务需求可动态的配置识别中心的虚拟机数量，目前可应对数百级的并发处理。

5.2　登录时延

组织 10 名测试人员，采用华为、苹果、小米、Vivo 等品牌手机，进行 500 次“电 e 宝”的刷脸登录操作，记录登录时延，结果如图 5 所示。

测试结果显示：登录 500 次，成功 496 次，成功率 99.2%。大多数登录所需的时间在 4~6 s，平均时长 5.2 s。结合人脸识别云平台的日志进行分析，发现用

人民邮电出版社出版

户登录不成功的原因是活体检测超时，日志中没有上传照片的记录。测试中还发现，4 次登录不成功中，2 次是采用较低分辨率摄像头的手机进行登录，视频流的分辨率对活体检测的动作判断有影响。

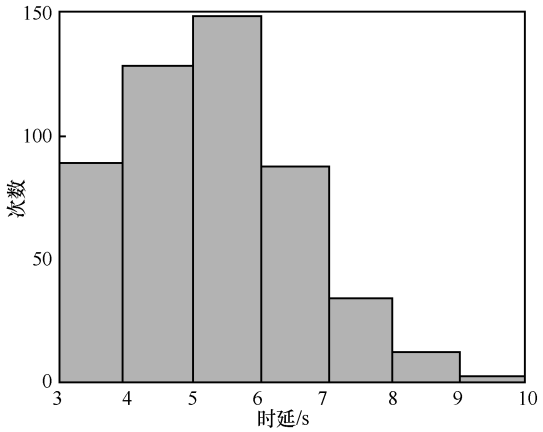


图 5　登录时延测试结果

5.3　应用历程

2017 年 7 月，“电 e 宝”刷脸登录系统在山东省开展试点应用，同年 12 月，“电 e 宝”刷脸登录系统在全网进行推广应用；人脸识别技术在“安心信用贷”的用户借款确认场景中应用。2018 年 3 月，商旅云提供刷脸登录的服务。同年次月，刷脸登录在国网商城上线运行。

6　结束语

人脸识别技术在国网电商“电 e 宝”、商旅云等平台的应用，避免了用户忘记密码的烦恼，实现了刷脸秒级登录，提升了用户体验。私有化部署、随机活体检测等技术的应用，有效降低了系统应用风险。该系统经过近一年的生产部署，尚未发生系统故障或安全事件，综合效益明显。

人脸识别系统在使用过程中，尚存在如下问题，有待进一步提高。

（1）“双胞胎问题”。在测试中发现一些相貌相似人的照片，系统容易误判为同一人，存在一定风险。

（2）活体检测效果不令人十分满意。受光线、用户动作规范性及手机摄像头分辨率等因素的影响，活体检测有时难以实现一次登录成功，此时尚需用户再次登录。

参考文献：

[1] HINTON G E, SALAKHUTDINOV R R. Reducing the dimensionality of data with neural networks[J]. Science, 2006, 313(5786): 504, 507.

[2] IAN G F, YPUSHUA B, AARON C. Deep learning (adaptive computation and machine learning series)[R]. 2016.

[3] SCHROFF F, KALENICHENKO D, PHILBIN J. Facenet: a unified embedding for face recognition and clustering[C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Piscataway: IEEE Press, 2015: 815-823.

[4] ZHOU E, CAO Z, YIN Q. Naive-deep face recognition: touching the limit of LFW benchmark or not[R]. 2014.

[5] TAIGMAN Y, YANG M, RANZATO M A, et al. Deepface: closing the gap to human-level performance in face verification[C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Piscataway: IEEE Press, 2014.

[6] PARKHI O M, CEDALDI A, ZISSERMAN A. Deep face recognition[C]//The 26th British Machine Vision Conference. 2015.

[7] ZHANG K, ZHANG Z, LI Z, et al. Joint face detection and alignment using multitask cascaded convolutional networks[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2016, 23(10): 1499-1503.

[8] 王元, 文兰, 陈木法. 数学大词典[M]. 北京: 科学出版社, 2010.

[9] SZEGEDY C, IOFFE S, VANHOUCKE V. Inception-v4, inception-ResNet and the impact of residual connections on learning[R]. 2016.

人民邮电出版社出版

三维数字化设计在丹河火力发电厂基建期的应用

王建鹏，吴晓辉，孟颖超，郭洪飞，陈小红
（中国电建集团河南省电力勘测设计院有限公司，河南 郑州 450007）

摘　要：数字化设计是设计技术的升级，数字化设计以信息模型为载体，以精细化设计为理念，以全寿期数字化设计与服务为目标。利用数字化设计手段，加强设计和施工的沟通，在设计阶段全面考虑设计要求、施工工艺、施工成本，直观指导现场施工，减少设计变更，控制工程造价，促进设计和施工的融合。

关键词：数字化设计；三维模型；仿真；漫游

1　引言

焦作丹河电厂工程由国家电投集团河南电力有限公司投资建设，工程本期建设 2×1 000 MW 超超临界燃煤机组，它是河南省和国家电投重点电源建设项目，是国家电力投资集团有限公司三维数字化电厂建设示范工程，由中国电力建设集团河南省电力勘测设计院负责主体工程设计。本工程要在数字化设计模式下，借助数字化信息模型、协同工作平台、工作进度管理工具等手段建立一个数字化电厂，辅助电厂基建期的管理，把工程建设中的错误和风险降到最小，把工程造价降到最低，实现效率最大化。

2　数字化设计基础设施

2.1　技术标准

数字化设计的基础是标准化，笔者单位通过多年工程数字化设计实践和探索，建立了较为完善的数字化设计标准化知识体系，主要包括数字化技术标准、管理流程规定和质量控制措施等标准化制度，对于促进工程设计技术标准化、数字化设计管理规范化起到了重要作用，也为数字化设计推广应用奠定了基础。本工程就是要用同一套工作标准、同一个工作环境来进行设计，要对工作内容进行集中管理，对工作流程进行集中控制，共同完成同一个项目。主要实行的技术标准有《数字化设计内容深度规定》《数字化设计配合流程规定》《数字化电厂 KKS 编码导则》等一系列企业级标准化知识体系，为数字化设计提供技术保障。

2.2　项目管理规范

本工程采用生产管理信息系统的自动化流程进行管理，实现任务下达、权限分配、资料交接会签、版本发布、成品校审、电子签名、图档管理等多专业、多步骤协同设计工作。通过设计协同管理平台构建集成的多系统、多平台的工作流程流转体系。各专业间协同程度高，步调一致，自动化程度高。同时又从技术标准、设计流程、质量控制措施 3 个方面对工程 BIM（building information modeling，建筑信息化模型）数字化设计进行严格规范，并通过软件平台进行流程固化，实现了规范化应用。项目管理分解如图 1 所示。

2.3　模型元件库

为保证本工程所用的信息化模型的建模质量和实用性，对建模工作流程、工程模型数据库及公共模型数据库进行专业化管理，以保证数字化建模工作配合顺畅。建立的元件数据库包括设备库、管道管件库、阀门库、电器元件库、支吊架数据库、结构截面库等，模型种类齐全，空间表现恰当，属性数据完整，可以满足设计深度要求。模型元件库如图 2 所示。

2.4　设计软件平台

数字化设计平台以工程数据库为基础，利用 ProjectWise 进行协同设计管理，发挥 Bentley Microstation 软件异形设备建模和 AVEVA PDMS 平台数据库驱动图形的优势，自主开发多款接口软件，以保证个体软件成品与统一协同平台的数据的及时性和准确性。

如图 3 所示，专业设计软件平台由下面几个主要模块组成：工艺系统、电控设计平台、土建设计平台、流程管理等。

人民邮电出版社出版

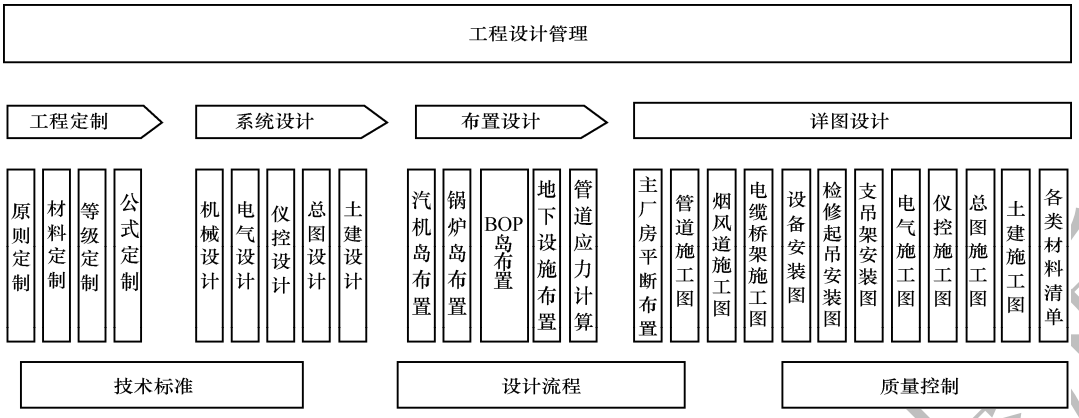


图 1　项目管理分解

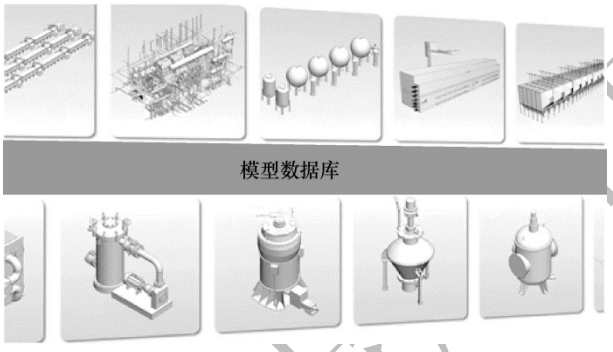


图 2　模型元件库

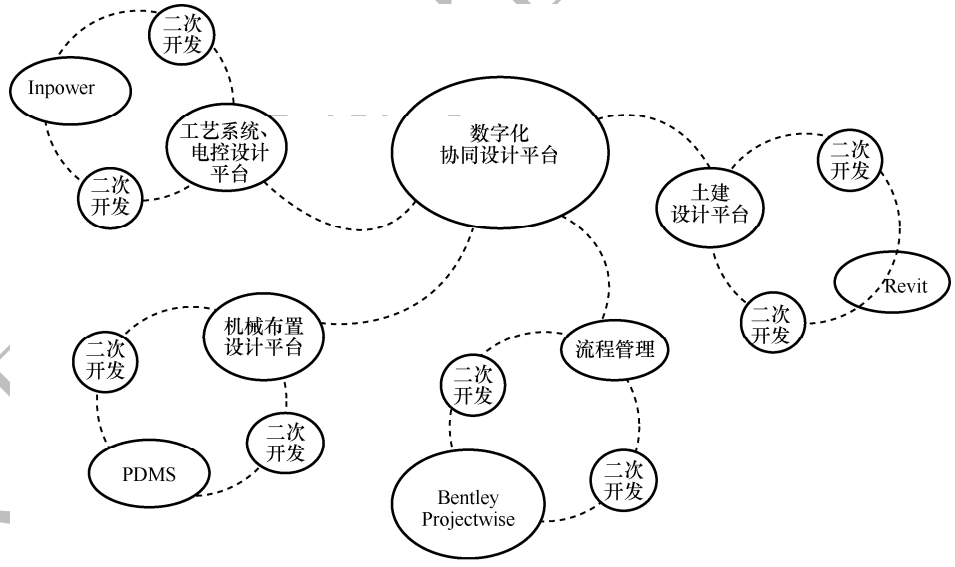


图 3　设计软件平台架构

2.5　数字化电厂信息管理平台

本工程利用 BIM 技术、WebGL 技术等开发和搭建了供多方参与的数字化电厂信息管理平台，平台以数字化设计移交的图纸与数据成果为基础，资料包含设备厂商、设计院、施工单位及招标人提供的图纸资料和文档数据，搭建以二维/三维全信息模型为载体的、可集成化和关联性管理的数字化电厂信息管理平台，在电厂基建期发挥着重要作用，辅助建设者完成设计交底、方案评审、仿真漫游、设计交付等各方面管理工作。电厂信息管理平台示意如图 4 所示。



图 4　电厂信息管理平台示意图

3　数字化设计内容和深度

数字化设计在以数据库为中心、网络为支撑、项目管理为主干的设计管理平台上进行设计，并保持紧密的协同配合。数字化设计内容包括设计出图和三维建模。

本工程使用数字化设计手段，实现了包括汽机、锅炉、电气、化水、暖通、热控、除灰、脱硫脱硝等各专业工艺布置设计与详图设计以及热控接线设计在内的大量设计内容；实现了包括三维设计策划、项目建立、数据库维护、三维设计协同、碰撞消除等一系列三维设计管理工作；同时实现了全厂全专业共同完成三维布置，通过有序的三维设计管理，各专业在数字化平台协同布置环境下共同工作，实现厂房紧凑布局。

设计成果以数字化形式移交给施工、管理等各部门，达到项目的全生命周期管理。采用三维数字化设计手段进行数字化移交，基于强大的数据库后台和 B/S（browser/server，浏览器/服务器）结构的网络端信息访问模式，实现所有结构化和非结构化设计数据的综合管理，移交的数字化成果是数字化电厂的主要载体。

4　三维数字化设计在工程施工中应用的优势

4.1　材料统计有效控制了工程造价

设计阶段是建设项目进行全面规划和具体描述实施意图的过程，是处理技术与经济的关键性环节，是确定与控制工程造价的重点阶段。而数字化设计是设计技术的升级，它对控制工程造价有十分重要的作用。本工程依托 AVEVA PDMS 软件数据库驱动图形的优势，可对管道、保温、阀门、电缆等各大类工程量进行分类统计，通过对设备模型属性、管道及附件的属性进行精确统计，指定空间内所有设备、材料的数量，并自动生成设备清册、材料清册，极大地减少了设计人员的工作量，并提高了统计数据的精确性、服务采购和施工管理工作，数字化协同设计也减少了设计变更流程，节省投资上千万元。

4.2　设计优化节省工程投资

充分利用三维模型可视化、实时共享的优势，进行布置方案优化，使得电气、热控设备布置更紧凑、合理，同时又满足运行和检修要求；电气共箱母线合理布置在主厂房除氧间，改善其布置环境，提高供电可靠性；热控的电缆桥架模型参考入驻厂房组装模型中，优化布置方案，开展精细化设计，提高了设计效率。本工程在煤仓布局方面进行了优化设计（如图 5 所示），有效利用了土地面积，比初步设计阶段节约了用地，节省了投资。

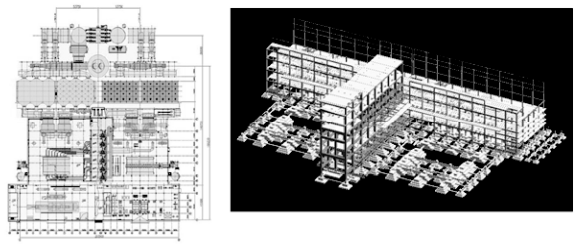


图 5　侧煤仓布局优化

4.3 设计成果的三维交付

工程师在搭建三维模型后，可以直观地将整个系统展现在业主面前，而不仅是单调的二维图纸，业主可以生动形象地根据数字化模型提出修改意见，从而对整个发电厂前景有清晰的理解和认识。设计师也可以根据数字化模型，对整个系统的合理性进行评价分析，三维模型的直观性也能促进设计人员与施工人员的良好沟通，有利于快速完善设计方案，减少由于设计和施工人员沟通不畅而造成的设计变更和工程返工等问题。

通过数字化电厂信息管理系统，完成多种基建资料（包括图纸、模型、材料表、厂商资料等）的收集、管理和应用，做好以上信息的应用关联，利用 HTML5 和 WebGL 技术的自主三维引擎，实现三维数字化电厂的互联网网页展示，方便各专业管理者在终端访问，最终一并交付业主。数字化移交流程如图 6 所示。

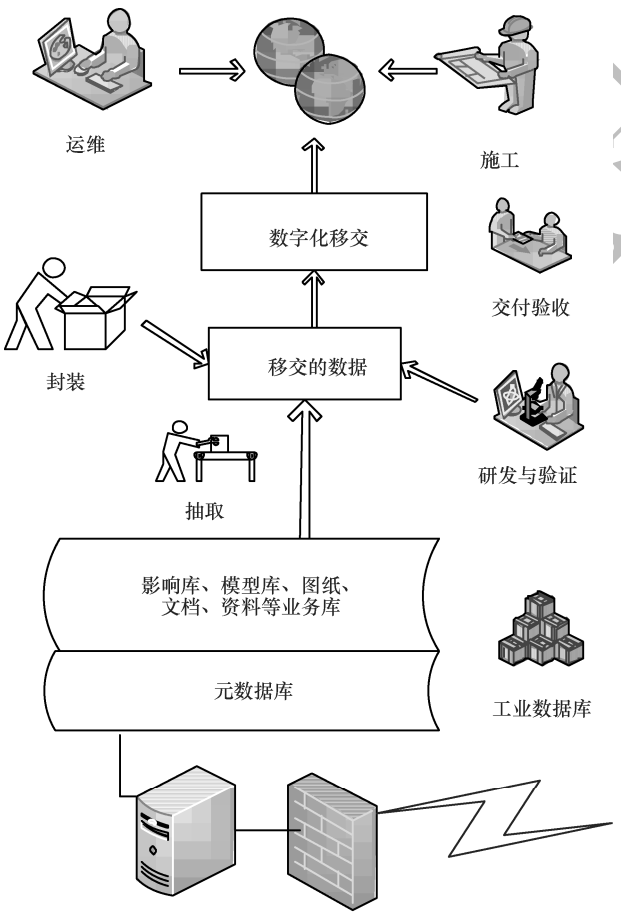


图 6　数字化移交

4.4 促进了设计与施工的融合

施工技术人员可以提前参与到工程的设计阶段，在协调工作环境、利用数字化设计成果、三维模型与图纸之间的导航管理、模型碰撞检查、空间距离校验方面，帮助设计人员和施工人员在项目工程施工前全面准确地掌握设计意图、施工技术要点，尽早发现设计错误和缺陷，并及时提出可行的修改意见，通过方案优化和设计优化，实现降低造价、节约投资和可持续发展的目标，避免工程建设中出现问题和可能造成的损失，减少设计变更。通过数字化电厂综合信息管理平台，实现区域化多专业的可视化施工交底。通过 PAD、手机等移动终端开展模型辅助施工工作。协同工作示意图如图 7 所示。

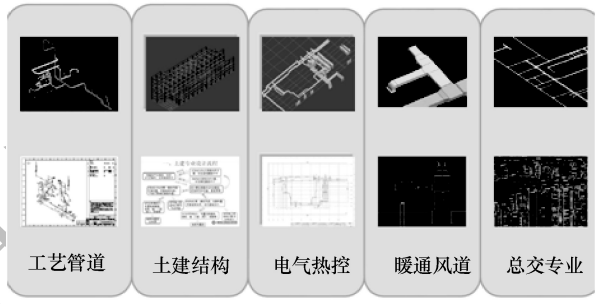


图 7　协同工作示意图

4.5 仿真分析与虚拟漫游

依托 BIM 模型开展安装过程的模拟安装仿真和阀门操作仿真等工作。通过三维实体模型，可以方便地进行可视化设备安装过程的模拟，进行安装方案比较，通过全比例的实体模型，可以真正模拟安装的整个过程，进行虚拟安装方案演示。本工程对#1 机组主机油箱吊装施工方案和#1 机发电机定子吊装施工方案（如图 8 所示）进行了模拟演示，论证了方案的可行性，发现了问题，提出了改进方案，取得了良好效果。此外，利用笔者单位数字化设计平台的可视化功能，用户在电厂信息管理平台上可以对信息化数字模型整体或者建构筑物内部场景进行实时自由浏览，可以从多视角、多角度进行空间浏览，也可以实现消隐、线框、光滑渲染等多种显示模式下的动态浏览，进行推进、拉出、旋转、仰视、俯视、平移等视角操作，也可以进行地面行走、飞行模拟漫游等，提高了对施工对象和相关对象的认识。主厂房虚拟漫游如图 9 所示。

4.6 设计验证及碰撞检测

主厂房区域涉及数十种参数的压力管道的设计，

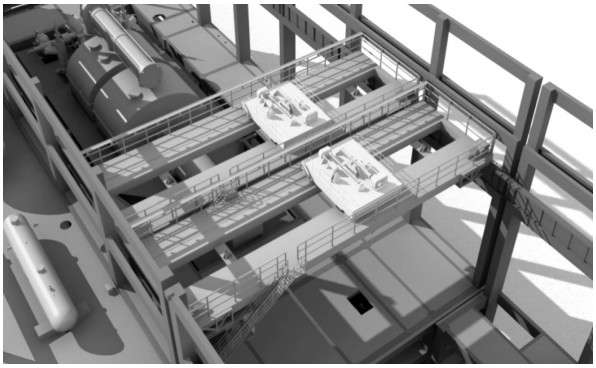


图 8　发电机定子吊装施工方案模拟



图 9　主厂房虚拟漫游

各专业管线分层分类设计，关注应力分布合理的同时兼顾走向美观，节省材料，支吊合理。主厂房内十余个专业同时进行协同设计，三维碰撞检查是非常必要的，也是主要体现 BIM 价值的工作之一。本工程施工图出版前利用三维信息化模型，在主厂房内共计发现碰撞 374 处（如图 10 所示），反馈给设计人员分别进行改正，避免了传统设计模式下大量的设计变更，以保证各专业管线分层分类设计时关注应力分布合理、兼顾走向美观，节省材料，支吊合理，避免错误。

4.7　施工图纸数字化出图

设计人员绘制三维模型后，通过动态剖切功能自动生成二维平断面图纸，满足安装施工的要求。在三维数字化设计中，二维原理图、三维模型的布置和二维平断面均可以实时、动态、高效地关联。当设计修改时，只需在三维布置模型中进行相应的模型调整，



图 10　管道碰撞检查结果

其关联的所有二维图纸都会自动更新，不需再对平断面图做大量修改，减少和避免了人为修改图纸引起的错误，也大大提高了设计效率，与施工现场进度保持高度一致。

5　结束语

本文以焦作丹河电厂工程为研究与应用对象，在三维数字化设计模式下，利用其形成的数字化移交成果，施工方对于设计中需求可以通过项目数据集成的模型进行提出明确的要求和意见，并在数字化设计实施中进行研究。数字化设计技术使设计与施工配合更全面、更前移、更有效，促进了设计与施工的紧密合作。使用数字化模型对重点施工段建立模拟施工，直观反应工程施工过程，方便设计图纸交底，设计方根据施工情况及时调整设计进度和修改设计详图，满足现场施工进展。它提升了电厂的数字化管理水平和决策支持能力，保证了工程建设达到预期目标和效果。利用三维数字化设计，本工程设计建设期总计缩短工期 6 个月，节省材料、施工、管理成本约 2 630 万元。

参考文献：

[1] 王坚. 火力发电厂布置技术与信息化手段运用[J]. 电力建设, 2010, 31(4): 82-85.

[2] 汤温琳. 大型火电厂设计优化思路[J]. 电力建设, 2005, 26(12): 1-5.

[3] 黄增宏. 数字化电厂设计与实现的探讨[J]. 吉林电力, 2004(6): 27-29.

[4] 江蛟. 华能巢湖电厂工程创新和优化[J]. 电力建设, 2010, 31(1): 72-75.

随机数发生器中熵源的实现方法

郑礼坤 [1,2]，梁倩 [1,2]

（1. 北京智芯微电子科技有限公司国家电网公司重点实验室电力芯片设计分析实验室，北京 100192；
2. 北京智芯微电子科技有限公司北京市电力高可靠性集成电路设计工程技术研究中心，北京 100192）

摘　要：为了减少熵源受到信号的干扰，基于振荡器采样的真随机数发生器，提出了特殊的物理设计实现熵源的方法。首先阐述了该真随机数发生器产生随机数的原理，分析了熵源的基本电路结构，并根据实际设计提出了布局要求，同时给出了详细的布局方法，并按照要求完成熵源的版图设计，完成后的熵源版图与其结构特点保持了较高的一致性，有效避免了周围信号对熵源的干扰，为随机数发生器提供了更好的随机性。

关键词：随机数发生器；熵源；版图设计

1　引言

随着计算机通信技术的快速发展，信息在传递、处理、存储过程中的安全问题越来越引起人们的广泛关注。信息安全的很多关键问题属于密码学的范畴，各类加密算法的安全性均以密钥的安全性为基础[1]。为了提高密钥的不可预测性，最好的方法就是使用真正的随机数。

真随机数发生器是利用物理方法实现的随机数发生器，在电路系统中产生真随机数主要由 4 种方法实现：噪声源直接放大、抖动振荡器采样、离散时间的混沌系统映射和亚稳态电路[2]。其中，基于振荡器采样的真随机数发生器以其结构简单且易于集成的特点，被广泛应用在 SoC 设计中。

在信息论中，熵是随机程度的度量，熵源就是随机数发生器随机性的来源，它决定了输出序列的可用熵，是随机数发生器中最重要的部件[3]。然而在实际设计中，熵源很容易受到各种因素的影响而使得产生熵的数量减少，影响随机性。考虑到随机数发生器中熵源的特殊性，在物理设计中采用特殊的实现方法，可以提高产生熵的质量，从而增强随机性。

2　FRO 结构特点

基于环形振荡器采样的随机数发生器，其基本设计思想是利用高频环形振荡器中的时序抖动作为熵源，低频振荡器作为采样时钟，用高抖动低频振荡器采样高频振荡器，通过两个独立工作的高、低频振荡器之间的相对关系来得到非确定噪声源，从而产生随机数序列，如图 1 所示。

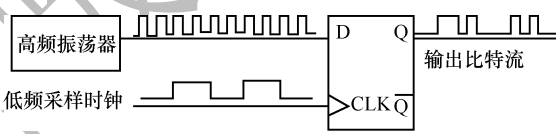


图 1　基于环形振荡器采样的随机数发生器

图 2 所示为基于环形振荡器采样的随机数发生器中熵源 FRO 的电路结构。该熵源通过两组由双反相器构成的延时单元形成延时链，对与或非逻辑门的输出进行延时。其中一组延时单元包含延时链上 95%的延时，另一组延时单元则提供延时链上剩余 5%的延时，二者之间通过与或门进行连接，为测试验证提供可测试点。最后通过逻辑单元输出随机序列，并通过同步寄存器进行同步输出。

实际设计中，单个 FRO 时序抖动程度往往不足，仅通过对该熵源进行采样难以得到统计特性非常理想的随机序列，因此采用多个 FRO 进行异或运算来提高随机性。由于 FRO 的长度决定了其振荡频率，且直接影响了异或运算的输出结果，因此为了避免相同频率的 FRO 同时跳变造成熵的浪费，各个 FRO 的长度应各不相同。

3　FRO 布局要求

基于环形振荡器采样的随机数发生器，布局时主要考虑阻止熵源受到周围信号的干扰导致产生熵的数量减少。FRO 的布局要求主要体现在以下几个方面。

人民邮电出版社出版

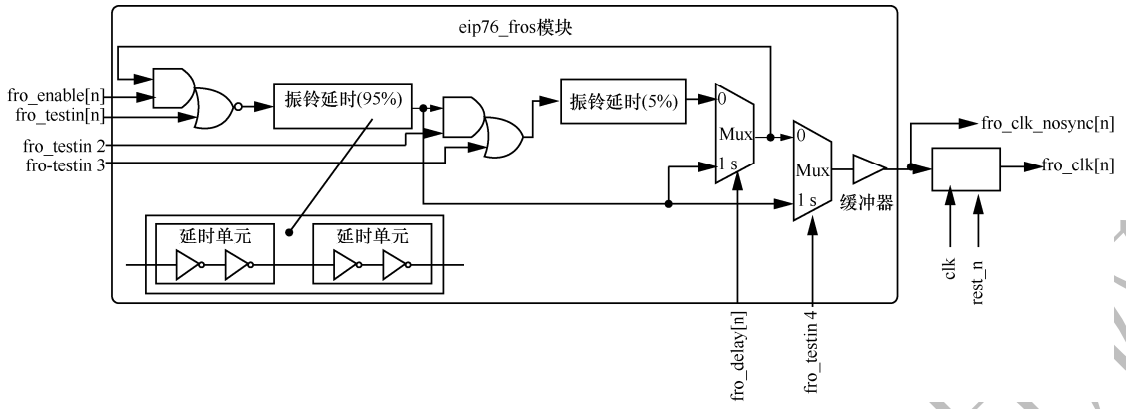


图 2　FRO 结构原理

（1）高、低频振荡器独立摆放

随机数发生器的随机性主要来自电源和基底噪声与振荡器电路的耦合，由于多个振荡器会耦合同一个噪声源，因此尽量不要让它们靠得太近。如果两个振荡器锁定在同一个噪声源上并相互耦合，那么它们之间的相关性也会增加，从而使两个源的随机输出相互关联。

（2）添加隔离保护环

所有环形振荡器延迟电路级中的电源和基底噪声都是相关的，对于随机数发生器上的两个高、低频振荡器，如果屏蔽不是很好，会造成两个位流源之间的随机性相互关联，因此要在作为熵源的高频环形振荡器周围添加隔离保护环，来减少二者之间的信号耦合。

（3）频率相近的环形振荡器分开摆放

频率差别较小的环形振荡器链，由于它们的振荡频率相近，跳变区存在大量交叠，当两个振荡器同时进行跳变，时序抖动中的熵就浪费了，因此布局时应分开摆放，从而最大限度地减少熵的浪费，增加随机性。

（4）单个环形振荡器紧密排列

熵源产生熵的数量随着振荡器频率的升高而增多，因此振荡器的频率应尽可能高。进行布局时，环形振荡器上的延时单元应紧密排列以减少门间线电容，从而提高环形振荡器的时钟频率。

4　FRO 实现方法

对随机数发生器中的熵源进行实现，首先需要对特殊的 FRO 单元进行提取，将其集中摆放在特定区域内，避免熵源的物理过程受到周围信号的干扰。

根据 FRO 的电路结构，对 FRO 的层次划分如下：

```
u_eip76_fros_shell
  | - u_eip76_sfntlib_syncn_xx   /输出同步单元
  | - u_eip76_fros
      \u_eip76_delay_element_xx_y    /延时单元
      \u_eip76……                    /逻辑单元
```

按照不同频率 FRO 所含有延时单元数量的多少，依次对每个 FRO 进行命名，并对每个 FRO 上的延时单元按顺序进行编号，从而为 FRO 中的每一个元素创建一个独特的标识。采用 TCL（tool command language）命令对每个 FRO 单元的命名属性加以识别，实现对 FRO 单元的提取。

基于 FRO 的布局要求，设计 FRO 的实现方法，如图 3 所示。

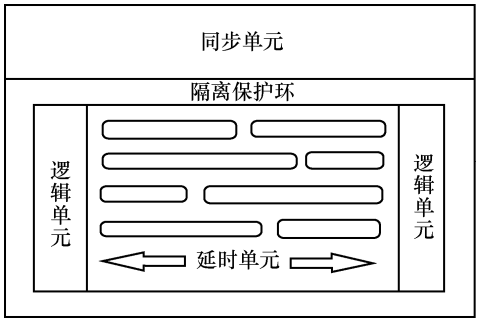


图 3　FRO 实现方法示意

首先，为了实现熵源的单独摆放，需要为提取出的 FRO 单元创建布局约束区域，限定在该区域范围内，只允许 FRO 单元的摆放。FRO 的布局约束包括 3 部分，中心区域为 FRO 延时单元的摆放区，两侧为 FRO 逻辑单元的摆放区，最外面一圈为 FRO 的隔离保护环。接着，对中心区域内的 FRO 进行布局规划。为了避免频率相近的 FRO 摆放在一起彼此

之间产生相互干扰，将不同长度，即含有不同数量延时单元的 FRO 进行交错摆放，且相邻 FRO 的方向相反以减少耦合。最后，对单个 FRO 上的延时单元进行排列。选定左右基准坐标位置，按照 FRO 的方向，通过最小间隔距离叠加，依次对 FRO 延时单元进行排列。

FRO 的布局过程通过 TCL 脚本加以实现：

```
proc fro_place {ring n y}{
for {set x 1}{$x < [ expr $n/2]}{incr x}{
set cell u_eip76_fros/u_eip76_delay_element_$ring[$x]/u_inv
set origin_x [expr $x0+$min_x_space*$x]
set origin_y [expr $y0+$min_y_space*$y]
set_attribute -quiet $cell origin [list $origin_x $origin_y]
}
}
```

根据示意图实现熵源的布局如图 4 所示。为了便于 FRO 的连接，对 FRO 模块的端口位置加以约束。将共用端口如 clk、reset_n 等放在中间，将各个 FRO 特有的控制信号端口如 fro_enable、fro_delay、fro_testin 等放在两边，与各延时链的输入输出单元相对应。

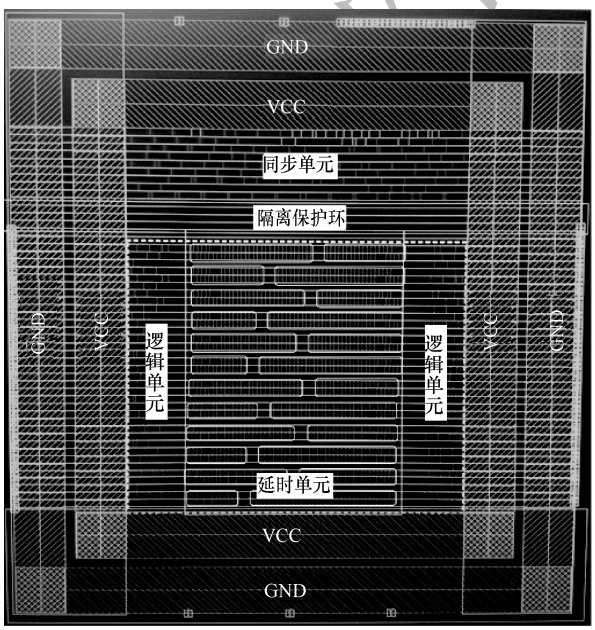


图 4　熵源的布局

由熵源的电路结构可知，各个 FRO 的输出，即经过采样的异步时钟信号都通过同步寄存器进行同步，这些同步寄存器的时钟信号来自同一个时钟端口 clk，时钟约束如下：

create_clock-name clk-period 10 [get_ports $clock_ports]

通过时钟树综合构建平衡的时钟树，将 clk 送到各个 FRO 同步寄存器的时钟引脚，如图 5 所示。由于只在各个 FRO 内部存在时序路径，时序关系很容易满足。

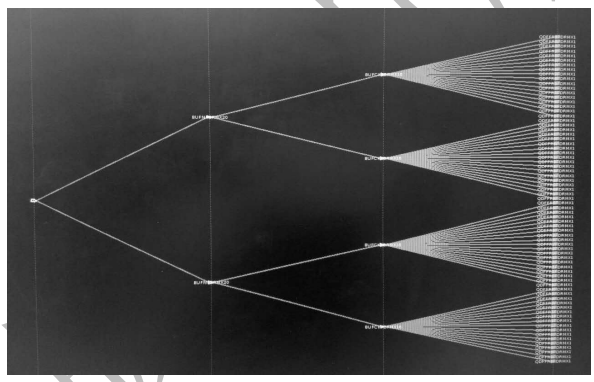


图 5　时钟树综合结果

最后通过布线实现各个逻辑信号的物理连接。经过设计规则检查和一致性检查，得到熵源最终的版图设计，如图 6 所示。

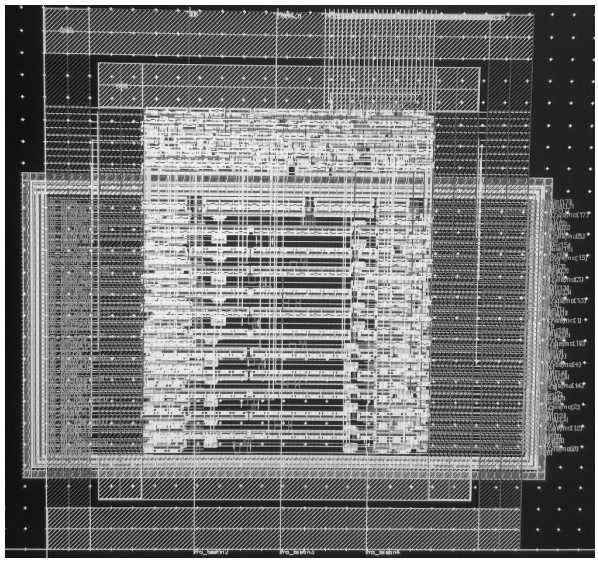


图 6　熵源的版图设计

5　结束语

本文介绍了基于环形振荡器采样法的随机数发生

器的基本原理，分析了熵源 FRO 的结构特点，重点考虑影响熵源产生熵质量的几点因素，提出了 FRO 的布局要求。基于布局要求设计了 FRO 的布局方法，并实现了 FRO 的版图设计。本文实现的熵源的物理版图设计与其结构特点保持了较高的一致性，避免了周围信号对熵源的干扰，为随机数发生器提供了更好的随机性。

参考文献：

[1] 薛英花, 吕述望, 郭圣权. 随机数发生器分析及其在安全信息系统中的应用[J]. 计算机工程, 2003, 29(3): 42-44.

[2] 邓焕, 金荣华, 陈俊, 等. 基于振荡器的高性能真随机数发生器[J]. 固体电子学研究与进展, 2007, 27(3): 391-396.

[3] 喻祖华, 白创, 戴葵. 一种高速低功耗真随机数发生器[J]. 微电子学与计算机, 2014(8): 61-66.

人民邮电出版社出版

通信用分布式电源系统（DPS）应用研究

邵正忠
（中国电信股份有限公司南京分公司，江苏 南京 210008）

摘　要：介绍了分布式电源系统的分类，着重研究通信用电源专业供电侧分布式电源系统（DPS），介绍了 DPS 的特点、组网方式，并对其优缺点进行了分析，提出了其适用的场景以及不建议采用的场景。

关键词：能源与动力工程；电源；分布式电源；DPS

1　引言

分布式电源系统（distributed power system，DPS）包括分布式发电电源（又称分布式能源）、分布式供电电源。发电电源强调的是能源的产生，供电电源强调的是能源的输送。通信用分布式电源包括发电侧分布式电源（如太阳能发电、风能发电）和供电侧分布式电源。通信用供电侧分布式电源可分为电源专业分布式电源及用电设备专业分布式电源。电源专业分布式电源指的是有别于集中式供电及楼层分散式供电以外的机架式供电电源，用电设备专业分布式电源指的是有别于机架内集中式供电、分层式供电以外的多个电压等级由各自单独电源模块供电的电源。本文仅研究通信用电源专业供电侧分布式电源。

2　DPS 特点

DPS 特点具体介绍如下。

- 支持多种电压类型：按输出电压分，可分为输出 220 V 交流型 DPS、输出 240 V 高压直流型 DPS、输出−48 V 低压直流型 DPS。输入电压一般为交流 220 V。
- 支持多种功率：支持的功率从 1~12 kW 不等，根据不同的供应商，有不同的功率系列。
- 一般内置电池：考虑到传统铅酸电池质量及体积均较大，一般配置锂电池。锂电池质量能量密度为 0.46~0.72 MJ/kg，容积能量密度为 0.83~0.9 MJ/L，按单机架功率 3 kW、后备时间 1 h 测算，电池质量为 15~24 kg，容积为 12~13 L。电池容量较大时，也有 DPS 采用外置电池。
- 电池后备时间短：一般电池后备时间为 1 h，如果达到 4 h，按单机架功率 3 kW、后备时间 1 h 测算，电池质量达 60~96 kg，容积达 48~52 L。很显然电池后备时间越长，挤占机架内的有效空间越多。
- 安装位置低：考虑到 DPS 内置电池一般较重，往往将其安装于机架底部。

3　DPS 组网方式

3.1　220 V 交流型 DPS

该型 DPS 一般为单机运行。由于交流并机的复杂性，考虑到成本原因，尚未发现微型模块化并联 DPS。机架内安装时组网方式如下。

（1）单机架单机组网

每个机架单路市电输入，内安装一台 DPS，输出分别送至机架的 A 路及 B 路 PDU（power distribution unit，电源分配单元），如图 1 所示。单台 DPS 的功率等于单个机架的总功率。大部分 DPS 支持主用市电及旁路市电来自于不同的电源，此时可实现两路市电引入，做到市电级备份。

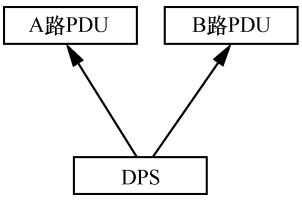


图 1　单机架单机组网

该方式优点是结构简单、清晰；缺点是未引入第二路市电时，市电级未做备份，DPS 故障后整个机架均受影响。

人民邮电出版社出版

（2）单机架单机+市电组网

每个机架有 2 路市电输入，安装 1 台 DPS，I 路市电输入 DPS，输出提供给 A 路或 B 路 PDU，II 路市电直接提供给 B 路 PDU 或 A 路 PDU。单台 DPS 的功率等于单个机架的总功率。

该方式优点是 2 路市电互为备份，停任一路电时机架单侧失电，运行不受影响；缺点是市电未做隔离，波动大时对服务器等影响较大，易引起服务器等设备重启。单机架单机+市电组网如图 2 所示。

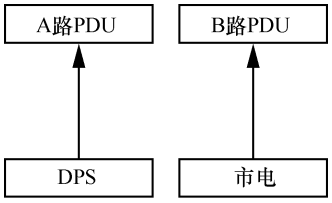


图 2　单机架单机+市电组网

（3）单机架双机 2N 组网

每个机架 2 路市电输入，安装 2 台 DPS，输出分别提供给 A 路、B 路 PDU。单台 DPS 的功率等于单个机架的总功率。

该方式优点是 2 路市电互为备份，2 台 DPS 互为备份；缺点是相较于方案 1，设备投资增加 1 倍，机架空间占用增加 1 倍。单机架双机 2N 组网如图 3 所示。

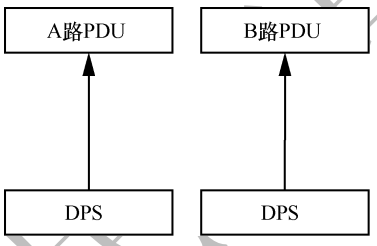


图 3　单机架双机 2N 组网

（4）相邻机架 2N 组网

每个机架 1 路市电输入，相邻机架不同市电输入，各机架内安装 1 台 DPS，提供给本机架及相邻机架。例如 DPS1 提供给机架 1、机架 2 的 A 路，DPS2 提供给机架 2、机架 3 的 B 路，DPS3 提供给机架 3、机架 4 的 A 路，DPS4 提供给机架 4、机架 5 的 B 路，以此类推，DPS 2n−1 提供给机架 2n−1、机架 2n 的 A 路，DPS 2n 提供给机架 2n、机架 2n+1 的 B 路，最后一个机架与第一个机架互为相邻。n=1,2,3,…，单台 DPS 的功率等于 2 个机架的总功率。

该方式优点是 2 路市电互为备份，2 台 DPS 互为备份。DPS 总功率与方案 3 虽一致，但是由于本方案单台 DPS 功率较大，相对于 2 台较小的 DPS，节省了部分费用。缺点是组网结构复杂、不清晰。相邻机架 2N 组网如图 4 所示。

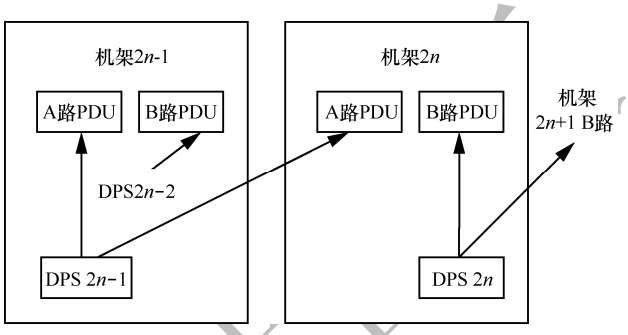


图 4　相邻机架 2N 组网

3.2　240 V 高压直流型 DPS

高压直流型 DPS 输出是直流电，因而可方便地多个模块并联运行，极大地提高了可靠性及维护便利性。绝大部分服务器及交换机均可支持 240 V 高压直流电源。电池处于放电状态，电压较低时，部分服务器或交换机可能会提前因电压越过下限而关机，因而应合理选择高压直流的输出电压，合理配置蓄电池。由于电池电压高，串接的单体电池数量较多，与−48 V 低压直流型 DPS 相比，电池故障的概率较高。

机架内安装时组网方式如下。

（1）单机架单机组网

每个机架内安装一台 DPS，输出分别送至机架的 A 路及 B 路 PDU。市电输入可采用一路，也可采用 2 路。采用 2 路市电输入时，DPS 各整流模块交叉接于不同的市电。

单台 DPS 的功率等于单个机架的总功率。DPS 各整流模块按 n+1 配置，功率包括机架功率及电池充电功率，模块数=$<\frac{\text{机架功率+电池充电功率}}{\text{模块功率}}>$+1，“<>”表示向上取整。若 DPS 整流模块数量适度放大，总功率等于 2 个机架的总功率，引入 2 路市电，则整流模块可做到市电级 2N 配置，单台 DPS 模块数=$2\cdot<\frac{\text{机架功率}}{\text{模块功率}}>$。

该方式优点是结构简单、清晰，缺点是电池成为单节点，故障后影响整个机架。单机架单机组网如图 5 所示。

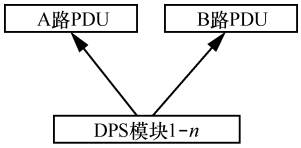


图 5　240 V 高压直流型 DPS 单机架单机组网

（2）单机架单机+市电组网

单台 DPS 模块数=<$\frac{\text{机架功率+电池充电功率}}{\text{模块功率}}$>+1。

其余与 220 V 交流型 DPS 同类型组网特点一致。

（3）单机架双机 2N 组网

单台 DPS 模块数=<$\frac{\text{机架功率+电池充电功率}}{\text{模块功率}}$>+1。

其余与 220 V 交流型 DPS 同类型组网特点一致。

（4）相邻机架 2N 组网

单台 DPS 模块数=<$\frac{2\cdot\text{机架功率+电池充电功率}}{\text{模块功率}}$>+1。

其余与 220 V 交流型 DPS 同类型组网特点一致。

3.3　–48 V 型 DPS

–48 V 电源是通信系统最常用的基础电源，其与 240 V 高压直流一样，可以方便地进行多模块并机输出，可靠性及维护便利性极大地提高。由于–48 V 型 DPS 靠近负载侧，电缆路径短，因电压突变而造成的电压跌落低，全程压降较集中供电型开关电源小。其电压较 220 V 交流与 240 V 直流来说均较低，电池串接的单体数量较少，电池故障的概率较这两种少，且技术成熟度较高，系统整体可靠性较高。其组网方式与 220 V 交流型 DPS 同类型组网特点一致。单台 DPS 模块数量配置方式与 240 V 高压直流一致。

4　DPS 优缺点

分布式网络具有就近负载、容错机制（单节点故障不影响分布式网络运行）、远程控制复杂、易受病毒感染（单节点安全性差）等特点，分布式电源与之类似。与集中式及分层式供电相比，DPS 优点如下。

- 线路可靠性高：由于 DPS 直接安装于机架上，缩短了 DPS 到设备之间的距离，沿电力线链路发生的配线故障机率（如噪声干扰、接地或接线松脱等问题）大幅降低。
- 影响面小：由于 DPS 直接服务于机架，一台故障时仅影响一个机架，较大型电源系统相比，影响面大幅降低。
- 在线更换：DPS 的内置电池可在线更换，DPS 机身或模块亦可在线更换，大大缩短了故障抢修时间，提高了系统安全性。
- 多种冗余机制：与集中式及分层式大型电源系统一致，220 V 交流型 DPS 本身自带旁路，逆变器故障时，可自动切换至旁路供电。240 V 高压直流型 DPS 与–48 V 低压直流型 DPS 均具有模块冗余功能，可在线更换。
- 具有监控功能：与集中式及分层式大型电源系统一致，DPS 运行状态可通过监控实时显示，故障时及时报警，便于维护人员迅速反应，快速处理。

与集中式及分层式供电相比，DPS 缺点如下。

- 维护不便：DPS 安装于机架底部，遇到 DPS 故障需要更换器件或更换电池时，维护人员需趴在地面上进行操作，非常不便。
- 单体功能及可靠性不足：由于 DPS 单体较小，单体功能不足，可靠性相对大型电源系统略低。如某品牌 220 V 交流型 DPS 在市电瞬闪的情况下，个别 DPS 出现莫名故障，引起服务器重启。
- 维护量较多：由于 1 个机架有 1~2 台 DPS，机架较多时，DPS 数量较多，较大型电源来说，大大增加了维护工作量。
- 障碍绝对量多：同等功率下，DPS 数量较大型电源系统来说，数量较多，在同等故障率情况下，DPS 的障碍绝对量大大增加，客户感知差。
- 后备电池时间短，维护风险高：为减少体积，降低成本，相较于传统的 240 V 高压直流系统和–48 V 低压直流系统，电池的后备时间短，给故障抢修预留的时间少，风险较大。

5　DPS 应用场景

DPS 的优点明显，但缺点也明显，有些场景采用 DPS 比较合适，有些场景采用 DPS 不合适。基于目前的技术水平及产品成熟度，DPS 供电是现有集中式及分层式供电方式的有益补充。

建议采用 DPS 的场景如下。

- 允许业务长时中断的场景。例如，固网的室外一体机服务于普通用户，允许业务长时故障，故可采用 DPS；RRU 设备个别设备故障时，可由附近的设备进行覆盖补充，故可采用 DPS。
- 零星机架扩容的场景。机房机架位已近用完时，建设大型电源系统较浪费。业务系统具备负载

人民邮电出版社出版

均衡机制，允许不特定机架短时中断时，可采用 DPS 方案。

- 机房承重严重不足的场景。机房相近，楼层无安装大容量铅酸蓄电池或大型电源系统的空间，机房承重严重不足，且业务系统具备负载均衡机制，允许不特定机架短时中断时，可采用 DPS 方案。
- 业务系统已实行异地 2N 备份的场景。业务系统已实行异地（异楼）备份，单一机楼的整体故障不影响业务系统运行，可采用 DPS 方案。

不建议采用 DPS 的场景如下。

- 无人值守且业务相对重要的机房场景。由于 DPS 配置的电池后备时间短，预留给维护人员抢修的时间不足，因此无人值守且业务相对重要的机房不建议采用 DPS。例如电信 B、C 类机房，交换退网后新建机架时，机房无人值守，不建议采用 DPS。如果要采用 DPS，则电池后备时间必须长，这将会增加机架空间的占用，也增加了设备投资，DPS 的优势不明显。
- 有人值守且业务特别重要的场景。如果业务特别重要，对零星机架的电源故障零容忍，则不建议采用 DPS，例如 A 类机房。如果业务系统已实行异地 2N 备份，则不在此内。

6 结束语

- 通信用 DPS 有多种电压输出类型：输出 220 V 交流型 DPS、输出 240 V 高压直流型 DPS、输出−48 V 低压直流型 DPS。一般情况下内置电池，后备时间短。
- 通信用 DPS 有多种组网方式：单机、单机+市电、单机架双机 2N、相邻机架双机 2N 等。
- 通信用 DPS 是集中式、分层式电源的补充，适用于某些特定场景。
- 建议采用 DPS 的场景：允许业务长时中断的场景、零星机架扩容的场景、机房承重严重不足的场景、业务系统已实行异地 2N 备份的场景。
- 不建议采用 DPS 的场景：无人值守且业务相对重要的机房场景、有人值守且业务特别重要的场景。

人民邮电出版社出版

网络安全态势感知在共享充电桩系统中的应用

洪福斌[1,2]，黄兆桐[1,2]，张恺[1,2]
（1. 国网电子商务有限公司，北京 100053；2. 国网雄安金融科技集团有限公司，北京 100053）

摘　要：共享充电桩具有覆盖面广、充电快捷、协议电价、节能环保等方面的优势，是电动汽车充电服务网络的重要组成部分。随着电动汽车的普及以及私人充电桩接入数量的大幅增加，对共享充电桩系统的网络安全要求也越来越高。提出了一种面向共享充电桩系统的网络安全态势感知模型，该模型通过引入机器学习和数据挖掘技术，对共享充电桩系统进行网络安全检测、威胁预警分析、风险决策响应和安全趋势评估，全方位应对网络攻击和安全漏洞引发的安全风险，从而保障共享充电桩系统的平稳运行。

关键词：共享充电桩；态势感知；预警分析

1　引言

当今世界的网络环境日益危险复杂，各种网络攻击手段层出不穷。2016 年 4 月，习近平总书记在网络安全和信息化工作座谈会上指出“要树立正确的网络安全观，加快构建关键信息基础设施安全保障体系，全天候全方位感知网络安全态势，增强网络安全防御能力和威慑能力”，将网络安全态势感知（network security situation awareness）提升到了国家战略高度。

网络态势感知（cyberspace situation awareness）概念由 Tim Bass 在 1999 年首次提出，是指由各种网络设备运行状况、网络行为以及用户行为等因素所构成的整个网络的当前状态和变化趋势。随着网络技术的发展和网络规模的扩大，传统的网络安全防御措施（如防火墙、入侵检测、邮件网关和终端杀毒等）已经不能满足客户的需求。传统的网络安全防御措施通常采取孤立的方式分析情况，无法从整体上把控当前的网络安全状况，不能做到及时预警。网络安全态势感知能够对多个攻击场景进行威胁分析、预警分析和趋势分析，被许多国内外的专家学者提出用以解决上述问题。

目前在网络安全态势感知方面的研究主要如下。

- 张勇等人[1]提出一种基于 Markov（马尔可夫）博弈分析的网络安全态势感知方法，该模型能够动态评估系统安全态势，并为管理员提供最佳的加固方案。
- 管磊等人[2]提出一种集安全数据采集、处理、分析和安全风险发现、监测、报警、预判于一体的安全态势感知平台，该平台能从海量数据中挖掘威胁情报，从而实现风险发现、安全预警和态势感知，提升安全监测的攻击发现和安全态势感知的能力。
- 徐成等人[3]提出相邻闭环柔性直流互联的新型配电网络，并基于拓扑理论的安全态势分析方法，通过随机删除网络结点模拟系统所受攻击，计算网络在不同程度攻击下的连通度，验证所提配电网模型具有更强的顽健性。
- 陈彦德等人[4]提出建立一个网络安全态势感知概念模型和体系结构，分析研究构成网络安全态势感知系统的数据的特征提取、网络安全评估、网络应急响应、网络安全预警等重要组成部分，为下一步安全态势感知系统的实现奠定理论基础。

2　网络安全态势感知技术

网络安全态势感知技术架构如图 1 所示，主要由 4 个部分组成：网络数据源、数据收集层、安全分析层和态势展示层。数据收集层采集网络数据源的安全数据，通过数据过滤、数据标准化、数据质量监控等方法完成数据清理，并将清理后的数据进行存储，供安全分析层使用。安全分析层是网络安全态势感知的核心，包含网络威胁分析、系统安全分析、用户行为分析、威胁情报分析、安全态势预测等核心组件，该层利用大数据分析技术、规则关联库等，识别攻击意图和当前攻击阶段，实现对安全事件的有效监测发现

人民邮电出版社出版

和安全事件的生命周期管理，并对安全事件进行预测。态势展示层主要是呈现安全态势、安全告警、安全预警和防护方案，支持多种方式的可视化展示能力，如柱状图、雷达图、力导向图和地图组件等。

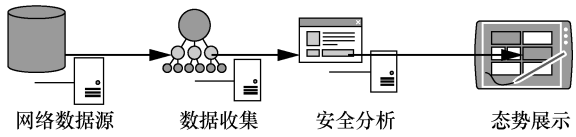


图 1　网络安全态势感知技术架构

网络安全态势感知不仅能阻断传统威胁，例如垃圾邮件、病毒、蠕虫等，还能阻断 APT（advanced persistent threat，高级持续性威胁）、恶意软件等威胁；不仅能够感知来自外部的攻击，还能发现来自内部的威胁，如内部人员或合作伙伴的威胁。

3　共享充电桩系统现状概述

随着共享经济的兴起，共享充电桩业务逐渐进入人们的视线。由于国家对新能源汽车的大力支持，企业和个人安装、建设充电桩的热情不减，但是受制于小区物业和电力负载的原因，现有充电桩的数量远远不能满足电动汽车的充电需求，因此需要众多企业和个人参与到共享充电桩的业务中来，以解决充电难的问题。

本文调研了目前各共享充电桩系统的建设情况，总结起来主要包括如下几个部分：设备管理、用户管理、商户管理、充电管理等。设备管理包括设备列表管理、区域管理、设备费率设置、报警设置、故障维修等；用户管理包括用户权限、账户余额、优惠券、用户基本信息等；商户管理包括设备注册、收益统计、结算明细、财务报表、基本信息等；充电管理包括用户验证、时间管理、异常处理等。

共享充电桩是互联网与充电业务结合的产物，这种属性决定了共享充电桩应注重来自线上和线下的安全问题。同时共享充电桩与电网直接相连，一旦不法分子通过共享充电桩攻击电网系统，将造成严重后果。综上所述，共享充电桩系统的安全问题至关重要，不仅共享充电桩企业需要加强安全保护，电网公司也应该采取保障措施。因此，本文提出了面向共享充电桩系统的安全态势感知模型，通对系统各业务模块进行安全监测、分析、预警，解决共享充电桩在使用过程中面临的安全威胁，保障共享充电桩系统有序运行。

4　面向共享充电桩系统的安全态势感知模型

本文基于“数据驱动”和“协同配合”的设计理念，通过对异构系统的安全数据采集整理，利用机器学习和数据挖掘技术，构建面向共享充电桩的安全态势感知模型，实现实时安全监控，准确把控当前系统的安全态势，预测业务系统面临的安全风险，阻止安全事件发生。该模型主要包括 4 个部分：异构数据源、数据收集共享、协同安全分析、安全态势呈现，具体如图 2 所示。

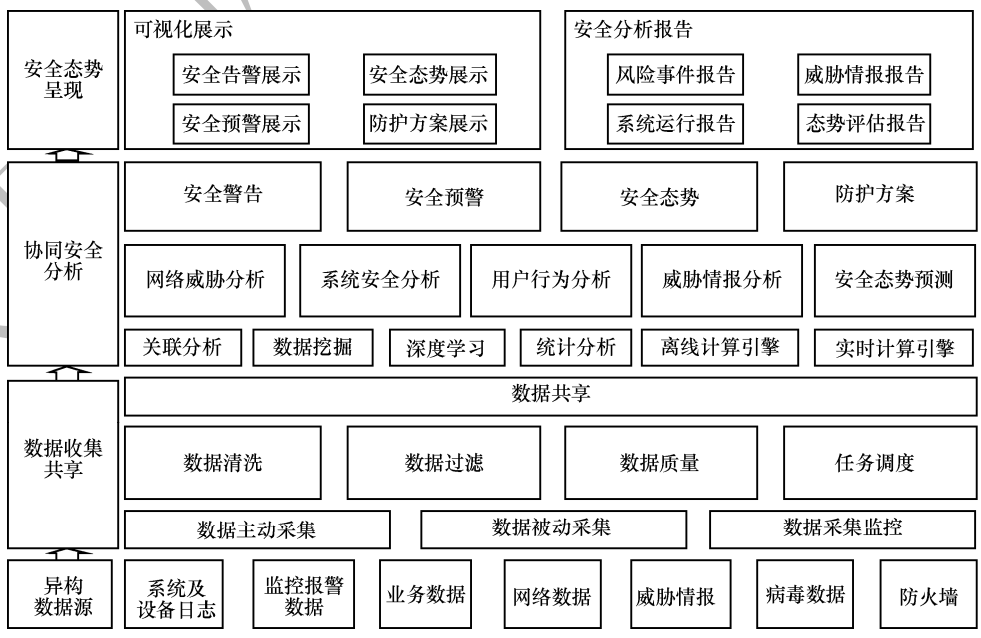


图 2　面向共享充电桩系统的安全态势感知模型

4.1 异构数据源

共享充电桩系统一般由充电桩设备、App 程序、后台管理系统和电表等组成，安全数据来源较多。系统及设备日志包括 Web 代理日志、Windows 安全及系统服务器日志、充电桩设备日志和路由器防火墙日志等，不同数据日志在用途上也有所区别；监控报警数据是检测工具发现异常，进而生成报警，报警数据主要来自 IDS（intrusion detection system，入侵检测系统）、防火墙、AV 等安全设备；业务数据包括充电数据、用户基本信息、商户基本信息、员工权限、设备费率等，对安全分析有较大帮助；网络数据一般是 FPC、会话或流数据；威胁情报一般来自厂商漏洞库更新或使用开放式漏洞评估语言的漏洞检测技术分析。

4.2 数据收集共享

网络安全态势感知模型从数据源获取的数据不能直接用于安全分析。比如日志数据一般存在大量冗余信息，对安全分析基本上没有什么帮助；业务数据单位不一致，需要进行标准化处理。获取数据后，需要经过数据清洗、数据过滤、数据质量评估等步骤才能用于下一步分析，即将数据特征提取出来。本文采用深度学习技术提取数据特征，通过建立循环神经网络模拟人脑进行特征学习，不断提高数据特征提取效率。笔者将提取出数据特征进行共享，同时对每类数据特征赋予不同级别的权限（由于涉及用户隐私和企业数据保密的要求，需要对数据设置访问控制），供共享充电桩企业和电网公司进行安全分析。

4.3 协同安全分析

本文根据共享充电桩系统与电网连接的特点，开创性地提出使用协同安全分析的方式，即共享充电桩企业和电网公司根据各自安全管理要求，分别对不同数据特征进行分析，同时根据需要分享安全分析结果。

协同安全分析主要包括网络威胁分析、系统安全分析、用户行为分析、威胁情报分析和安全态势预测。

网络威胁分析主要包括发现威胁、安全分析、威胁追溯、攻击定位和事件取证等过程。本文主要是通过充电桩和系统安全设备告警、异常流量检测发现威胁，并将威胁分为原始告警、关联告警等类别进行分析，对攻击来源、攻击时间、攻击程度等进行追溯，最终定位发起攻击的 IP 地址以及攻击的目标，最后对整个安全事件进行调查取证，出具安全分析报告。

系统安全分析通过恶意操作检测分析和脆弱性分析来判断系统是否安全。恶意操作检测分析采用在系统上进行大量恶意操作，如安装恶意软件、人为植入病毒等，分析系统是否能够阻止入侵；脆弱性分析采用从已知的故障实例或攻击实例中抽取特征，与目标系统已有的规则进行匹配，进而检测出系统的脆弱性。

用户行为分析主要是采用用户画像的方式，对用户的各种特征进行多维度描述，并采用聚类分析方法进行用户分类，进而发现用户的行为习惯、异常操作，尽早发现安全隐患和提升工作效率。

威胁情报分析是通过获取设备厂商、上级单位的威胁情报以及专业组织安全通告，分析系统、充电桩设备以及智能电表所面临的安全风险，并在第一时间采取安全防护措施，确保不受已知风险威胁。

安全态势预测通过对数据共享模块中的数据特征进行分析，预测系统将要面临的安全风险。本文使用多分类的逻辑回归算法，对历史安全事件的数据特征进行学习，训练出安全态势预测模型。在实时环境下，将数据特征值输入安全态势预测模型中，输出当前概率最高的几个安全威胁，作为安全态势预测结果呈现给用户。

4.4 安全态势呈现

安全态势呈现主要由两部分构成：可视化展示和安全分析报告。可视化展示是利用图形展示的方法，将安全告警、安全预警、安全态势和防护方案展示给用户，让用户直观地获取网络安全感状况。安全分析报告是将分析结果用风险事件报告、威胁情报报告、系统运行报告和态势评估报告的形式展示，内容尽可能详尽。

5 结束语

本文提出的面向共享充电桩系统的安全态势感知模型，开创性地使用协同安全分析，充分利用共享充电桩企业和电网公司的优势资源，对涉及各自领域的安全数字特征进行分析，并共享网络安全态势分析结果，呈现可视化的安全告警、安全预警、安全态势、防护方案以及安全分析报告，有效地解决了共享充电桩系统和电网的安全防护问题，为将来电动汽车的大规模使用提供了坚实的安全保障。

人民邮电出版社

参考文献：

[1] 张勇, 谭小彬, 崔孝林, 等. 基于Markov博弈模型的网络安全态势感知方法[J]. 软件学报, 2011, 22(3): 495−508.

[2] 管磊, 胡光俊, 王专. 基于大数据的网络安全态势感知技术研究[J]. 信息网络安全, 2016(9): 45-50.

[3] 徐成, 梁睿, 程真何, 等. 面向能源互联网的智能配电网安全态势感知[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(6): 13-18.

[4] 陈彦德, 赵陆文, 王琼, 等. 网络安全态势感知系统结构研究[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(1): 100-102.

人民邮电出版社出版

无线通信技术在智能电网建设中的应用

许剑
（北京中电飞华通信股份有限公司，北京 100070）

摘　要：智能电网作为未来电网建设的主要发展方向，其利用无线通信技术支撑电网建设中用电环节，在智能家居、智能城市建设中实现对多种用户侧资源（包括储能、分布式光伏以及城市交通、照明系统）的智能控制，在用电服务建设中满足多种用户对远程操控和移动作业等的操作需求。

关键词：无线通信技术；智能电网；智能控制

1　引言

随着全球能源格局的不断调整、智慧清洁可再生能源的不断加大普及和应用，智能电网的建设规模也在不断扩大。根据电网总体架构，智能电网的建设主要依靠信息通信技术，实现在发电、输电、变电、配电、电力消耗等电网建设环节上的安全可靠运行。整个电力系统的信息通信技术包括光纤通信、无线通信和电力线载波通信[1]。在智能电网的建设过程中，无论是在电力的产出、输送还是在电网的运行和服务上，都依靠通信技术的不断研发来支撑[2]。

信息通信技术在智能电网建设的用电环节中不单单实现了信息的交互，保障了整个用电服务系统建设的稳定，还实现了在能效管理、客户管理以及移动管理等方面的全面信息化，在客户服务能力方面有了综合性的提升，增加了用户使用满意度。同时结合互联网、物联网技术，实现各配电、用电环节终端设备的智能化控制，通过将电网侧与多种用户侧之间的信息进行交互，电网侧与多种用户侧之间的友好互动关系正在稳步向前推进[3]。

本文主要围绕着无线通信技术在智能电网建设中用户侧用电环节的应用展开介绍，包括通过用户侧数据采集装置、智能控制系统等智能家居建设，通过电网与用户之间的双向信息交互、多种资源整合利用实现的智能城市建设以及利用 Wi-Fi、4G 和移动终端实现的用能服务建设。

2　电力信息通信技术概述

电力信息通信技术是展开电网建设、电网运营服务管理的基础技术手段，极大限度地维护了电力系统的运行安全。将电力信息通信技术与互联网等进行全面创新性的融合，为电力系统的发展注入了新的活力。

（1）电力线载波通信技术

电力线载波通信技术以现有的电力系统输电线路网架作为载体的信号传输方式，通过将传输信息调制成载波信号，最后通过滤波、解调电路将信号还原为初始数据[4]。电力线载波通信技术在目前的应用上会受到噪声、信号衰变、频率带宽的影响，在应用过程中具有一定的限制条件。

（2）光纤通信技术

光纤通信技术以光导输送作为传输根本，通过将光源信号与光导纤维良性整合，在传输上具有信息输送容量巨大、保密性强、可传输区间长、铺设环境要求不高等优点。在电网系统运营上，光纤通信技术不断深入研发大容量传输技术，以满足电力系统整体需求[5]。

（3）无线通信技术

无线通信技术主要应用电磁波信号在空间进行信息传输，无线通信技术的应用在移动办公建设、智能化管理等方面得到了充分的集成。通常来说，无线通信方式主要有蓝牙、红外线数据通信、GPRS、Wi-Fi、4G 等。

3　无线通信技术在智能电网建设发展中的优势

无线通信技术主要代表有蓝牙、Wi-Fi、3G/4G/5G、UWB（ultra wideband，超宽带）等。现如今无线通信技术在智能电网建设中具有明显优势，利用无线通信技术的设备能够实现远途视讯、远程遥控、GPS

人民邮电出版社出版

定位、射频等功能。这些功能应用到智能电网的发展建设中，可使电网能够实现包含智能用电管理、电力线路智能检查监测、远程抄表作业、移动办公等功能，能够为智能电网建设提供帮助，提高整个电力系统运行的安全性和稳定性。

3.1 可用覆盖率广

无线通信技术中 Wi-Fi 是通信速率最快、应用范围最广的通信技术，可以实现区域内的全网络覆盖；蓝牙技术可以实现手机、PC、工业设备间的互联覆盖，这种设备间的信息覆盖式传输能够满足单向或多向设备的信息交互；3G、4G 可以广泛地覆盖各种移动终端，满足各种移动作业需求。

3.2 抗干扰性强

现如今的无线通信技术的抗干扰性能大大提高，可以有效抑制噪声干扰和降低信号传输过程中的信号衰落，在雨雪雷暴天气仍可以满足信息高效、安全、稳定的传输要求。

3.3 建设成本低

蓝牙、3G/4G、Wi-Fi 等技术早已深入现代化生活的方方面面，现代化生活进程时刻推动着 Wi-Fi、4G 等无线通信技术的发展，同时 5G 技术即将问世，将更好地满足信息通信中对信息传输速率、传输稳定性的要求。在智能电网的建设中，无须耗费额外的财政资源来增加现有通信技术的开发和建设成本。

3.4 满足不同传输距离要求

智能电网的建设根据信息的传输距离有明显的地域性区分，根据智能电网中的信息传输距离，将无线通信技术分为广域网、局域网和城域网，针对 ZigBee 技术建立网域传输协议，保障不同网域信息传输安全规范。

4 无线通信技术在智能电网中的应用

无线通信技术在智能电网建设中的应用主要体现在用电、配电环节，下面主要讲述无线通信技术在电网侧与用户侧信息交互过程中实现的智能化管理。无线通信技术实现了包括用户侧智能用电管理、移动办公业务、电力信息采集监控、远程遥控等功能。在小到智能家居建设，大到建设和发展智能城市，无线通信技术都发挥着它的积极作用。

4.1 智能家居建设应用

利用电力无线通信技术，结合智能插座、智能网关、智能电表以及智能管理系统等一系列先进家用设备，实现了家庭用户家用典型负荷（空调、冰箱、热水器、家用照明灯等）在降低能耗方面的智能化管理。在智能家居建设中，将家用典型负荷与智能插座连接，智能插座采集所连接家用典型负荷的用电数据以及能耗信息，智能网关利用无线通信技术收集智能插座采集来的用电数据和能耗信息，并对其进行分析整理，智能电表感知电网负荷和实时电价，通过在手机等智能终端上安装智能管理系统，结合负荷用电量、能耗分析结果、实时电价以及电网负荷压力，在保证用户满意度且不妨碍典型负荷正常工作前提下对家用典型负荷进行智能化管理。智慧家庭建设架构如图 1 所示。

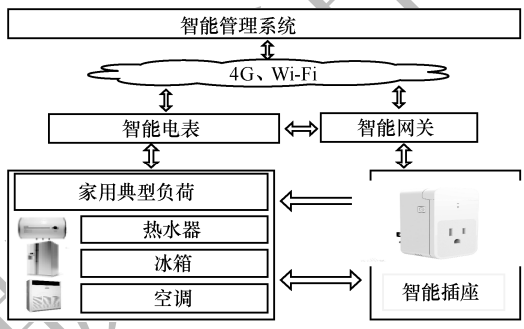


图 1 智慧家庭建设架构

4.2 智能城市建设应用

在智能城市建设中，对小区内可入户家庭安装智能采集终端和对不可入户家庭安装非侵入式测量装置，采集小区内家庭的用电信息，利用无线通信技术，实现小区与小区之间用电信息的交互共享。通过各小区之间的实时信息交流，及时发现各小区的能耗问题和区内资源冗余情况。结合小区内分布式光伏、储能信息，在城内合理分配多种资源，以实现多种资源的有效利用。同时通过无线通信技术全面监控管理城市交通道路照明系统，根据实时路况信息智能调控照明亮度，将分布式光伏、电动汽车、储能等多种清洁能源结合电网负荷压力情况，合理调节电动汽车和储能装置的充放电状态，提高能源有效利用率，减轻电网负荷压力。智能城市建设模型如图 2 所示。

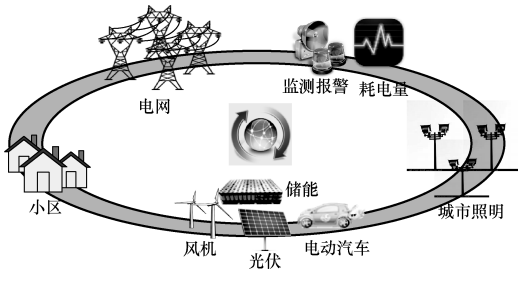


图 2 智能城市建设模型

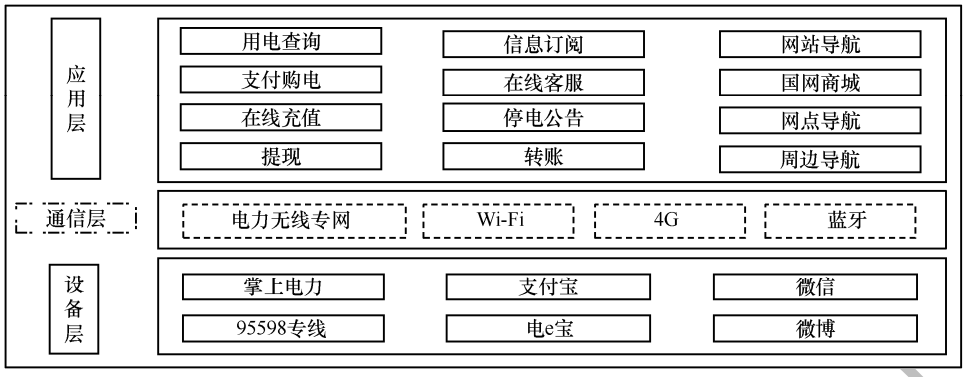


图 3　用电服务建设结构

4.3　用电服务建设应用

利用 4G、Wi-Fi 等无线通信技术，完成了在用电服务建设中的移动化办公、电能实时监控、远程作业等功能。利用 4G 等无线通信技术输送速度快、可靠性高、用户覆盖率广的优势，通过掌上电力、电 e 宝、95598 等移动终端，能够满足自助化开销户、自助查看耗电量、自查询支付、实时能效监测信息、查看电网相关政策、反馈意见等一系列用户业务需求。同时通过无线通信技术，可以实现远程抄表、记录、智能监测、巡检报警等功能，满足了用电服务的多种业务需求。用电服务建设结构如图 3 所示。

5　结束语

智能电网建设是中国未来电网发展的主要方向之一。综上所述，无线通信技术在智能电网建设领域中的应用全面性地满足了供电链路的技术要求，在为解决电力供需矛盾方面提供了有效的技术支撑，是有效提高用户满意度、提高智能电网供电链路运行安全性和稳定性的保障。

参考文献：

[1] 黄侠，傅林. 智能电网时代电力信息通信技术的应用探讨[J]. 通讯世界, 2017(5): 221-222.

[2] 卢彦飞. 试论智能电网时代电力信息通信技术的应用和研究[J]. 电子世界, 2017(1): 118-119.

[3] 李建军. 浅析智能电网技术现状与发展趋势[J]. 工程技术:全文版, 2016(11): 7.

[4] 汤效军. 电力线载波通信技术的发展及特点[J]. 电力系统通信, 2003, 24(1): 47-51.

[5] 徐梓洋，徐天佑，杨磊. 光纤通信技术的现状与发展前景研究[J]. 科技与创新, 2018(1): 160-161.

人民邮电出版社出版

芯片封装体可靠性及失效模式研究

杨金虎[1,2]，乔彦彬[1,2]，李建强[1,2]

（1. 北京智芯微电子科技有限公司国家电网公司重点实验室电力芯片设计分析实验室，北京 100192；
2. 北京智芯微电子科技有限公司北京市电力高可靠性集成电路设计工程技术研究中心，北京 100192）

摘　要：针对双列直插式封装 8 管脚和四方扁平式封装 144 管脚两种封装形式进行了湿热可靠性及失效模式分析，对两种封装体进行了一系列的可靠性实验，通过切片分析，发现四方扁平式封装 144 管脚出现了分层现象，而双列直插式封装 8 管脚没有出现明显变化。对影响塑封表面贴片安装的集成电路受湿气影响导致分层的主要原理进行了详细分析。对改进封装可靠性提出了改善措施。

关键词：湿热可靠性；失效模式；分层

1　引言

在各种微电子封装类型中，目前绝大部分都采用塑料封装，约占 90%以上[1]，其中绝大多数中小规模集成电路均采用双列直插式封装这种封装形式，此封装特点是适合在电路板上穿孔焊接，操作方便，除其外形尺寸及引脚数之外，并无其他特殊要求[2]。四方扁平式封装是通过贴片的方式贴附在电路板上，因此电路板两面可以形成不同的电路，节省了电路板空间，操作方便，可靠性高。本文为了研究不同封装形式的芯片的可靠性，设置了一系列实验，通过失效分析探索了两种封装的失效模式。为提升封装级可靠性的芯片的可靠性奠定了实验基础。

2　试验过程

2.1　湿气敏感等级

JEDEC -STD-020D.1 国际标准对湿敏元件进行了等级划分，共分为 8 个等级，见表 1，其中 MSL1 级为最不敏感等级，即可理解为对湿度“不感冒”，MSL1 级是指在 85℃和 85%RH 环境下存储 168 h 并进行 reflow 测试后，芯片仍能通过 SAT 检测，此类芯片的车间寿命（从防潮袋拿出起，到回流焊接为止，湿度敏感器件在不超过 30℃和 60％RH 的工厂环境条件下所允许的最长的暴露时间[3]）为小于或等于 30℃和 85%RH 的环境下可以无限期的存放，中间任何时间需要使用均可随时使用，不用进行密封也不用烘干。MSL2 级则相对 MSL1 级来讲对湿度有了一定敏感，此类芯片的车间寿命为小于或等于 30℃和 60%RH 的环境下可以存放 1 年，超过 1 年后就要进行使用前的烘烤处理[4]。MSL3、MSL4 等以后的等级对湿度的抵抗能力越来越弱，这时就需要进行密封包装处理和用前烘烤处理了，否则可能会出现失效或可靠性问题。

表 1　湿气敏感等级

级别	车间寿命		吸湿标准	
	时间	条件	时间	条件
1	不限	≤30℃/85%RH	168+5/-0	85℃/85%RH
2	1 年	≤30℃/60%RH	168+5/-0	85℃/60%RH
2a	4 周	≤30℃/60%RH	696+5/-0	30℃/60%RH
3	168 小时	≤30℃/60%RH	192+5/-0	30℃/60%RH
4	72 小时	≤30℃/60%RH	96+2/-0	30℃/60%RH
5	48 小时	≤30℃/60%RH	72+2/-0	30℃/60%RH
5a	24 小时	≤30℃/60%RH	48+2/-0	30℃/60%RH
6	标签时间	≤30℃/60%RH	标签时间	30℃/60%RH

2.2　试验过程

（1）样品信息

本文研究对象为 DIP8 和 LQFP144 封装体，从生产线取样，样品如图 1 和图 2 所示。取样前进行电特性测试，保证样品均为好品，并用电子秤对样品进行称重，称的精度为 0.01，处理后数据，详见表 2。

人民邮电出版社出版

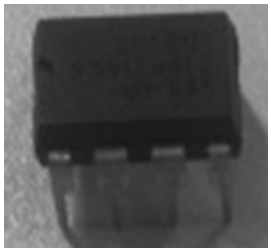


图 1　DIP8 封装体



图 2　LQFP144 封装体

表 2　试验样品信息

封装形式	DIP8	LQFP144
芯片体积/m³	228	560
芯片厚度/mm	3.4	1.4
样品数量	30	30
初始重量/g	14.37	41.01
试验条件	30℃和 60%RH	30℃和 60%RH

（2）试验流程

步骤 1　将拆封包装后的芯片进行初始称重；

步骤 2　将两种芯片在 30℃和 60%RH 条件下加湿，并每隔 12 h 进行一次称重，重量保持不变时的时间计为湿气饱和时间；

步骤 3　将达到湿气饱和后的芯片进行 125℃烘干[5]，并每隔 12 h 进行一次称重，当重量保持不变时记录烘干后的芯片重量；

步骤 4　重复步骤 2、步骤 3，反复 3 次；

步骤 5　分别对 3 个循环后的两种芯片进行回流焊处理；

步骤 6　对回流焊后的两种芯片进行 SAT 分析。

3　结果及分析

3.1　湿气导致湿度敏感器件分层的原理

在空气中长时间暴露以后，水分渗透到器件封装材料内，当器件被贴到线路板上后，将空气或氮气加热到足够高的温度后吹向已经贴好元件的线路板，让元件两侧的焊料融化后与主板粘结。在回流区，随着温度的上升，器件表面温度渐增，水分慢慢聚集到结合部位，随着温度持续上升，整个器件要在 183℃的环境下持续 60~150 s（锡铅共晶焊料），而无铅焊料则需要 217℃；最高温度可能在 220~235℃（锡铅共晶焊料），无铅焊接的峰值会更高，在 245℃左右[2]。在回流区的高温作用下，器件内部的水分会快速膨胀，压力突增，导致内部受力不均匀，器件内各种材料的膨胀系数不同，此时会失去原有的平衡，连接产生不良变化，从而导致器件剥离分层或者爆裂，由此器件的电气性能则遭到破坏，使其失效。如图 3 和图 4 所示，图 3 为暴露在空气中超过车间寿命时间芯片再经过 reflow 后的 SAT 检测结果，图 4 为车间寿命内芯片再经过 reflow 后的 SAT 检测结果。

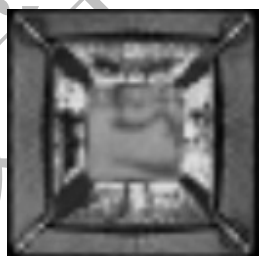


图 3　reflow 后 SAT 测试

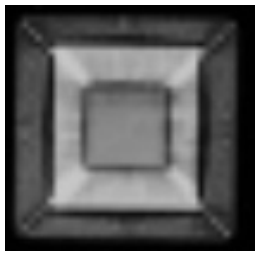


图 4　reflow 后 SAT 测试

回流焊之后进行的 SAT 测试结果为 SAT 30M C-type，发现树脂与框架层有严重分层现象。

3.2　吸湿烘干试验后的结果

两种封装形式的芯片在加湿称重和烘干称重的数值变化见表 3。

DIP 封装：此封装形式加湿后的重量没有明显变化，第一循环加湿后 30 颗芯片的重量变化只有 0.08 g，但是烘干后的重量无法达到原始重量，比原始重量增加了 0.02 g，此重量已经被锁存在芯片里。第二循环加湿后的重量变化为 0.11 g，比第一次进入的湿气多了，烘干后的重量比原始重量增加了 0.04 g，更多的湿气被锁存在芯片里。第三循环加湿后的重量变化为 0.15 g，比第二次进入的湿气多了，烘干后的重量比原

人民邮电出版社出版

表 3　两种封装三个循环后的重量（单位：g）

	原始重量	第一循环加湿后重量	增重	第一循环烘干后重量	比原始增重
DIP 封装	14.37	14.45	0.08	14.39	0.02
LQFP 封装	41.01	41.55	0.54	41.1	0.09
		第二循环加湿后重量	增重	第二循环烘干后重量	比原始增重
DIP 封装	14.37	14.48	0.11	14.41	0.04
LQFP 封装	41.01	41.68	0.67	41.35	0.34
		第三循环加湿后重量	增重	第三循环烘干后重量	比原始增重
DIP 封装	14.37	14.52	0.15	14.43	0.06
LQFP 封装	41.01	41.83	0.82	41.39	0.38

始重量增加了 0.06 g，更多的湿气被锁存在芯片里。

LQFP 封装：此封装形式加湿后的重量变化很明显，第一循环加湿后增重的重量为 0.54 g，烘干后，重量无法达到原始重量，30℃和 60%RH 条件下增重 0.09 g，说明此时已经有水分锁存在了芯片里出不去了。第二循环加湿后的增重为 0.67 g，比第一循环增加了，说明湿气进入得更多了，烘干后的重量为 41.35 g，比第一循环重量大，说明有更多的湿气被锁住了。第三循环加湿后重量为 41.83 g，比第二循环多，说明湿气进入得更多了，烘干后的重量比第二循环重量大，说明有更多的湿气被锁住了。

3.3　回流焊之后 SAT 的试验结果

将 DIP 封装和 LQFP 封装的两组芯片在第三次烘干后进行 reflow 测试，测试结果如下。

（1）DIP 封装芯片 SAT 结果

reflow 前的 SAT 结果如图 5 所示，reflow 后的 SAT 结果如图 6 所示。

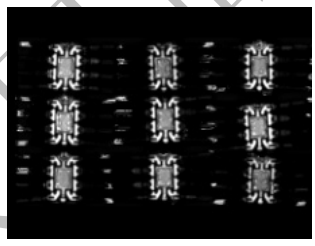


图 5　reflow 前

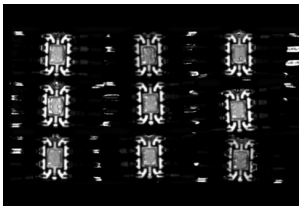


图 6　reflow 后

DIP 封装的芯片尽管进入了湿气，但是由于进入的比较少，芯片经过 reflow 后并没有出现分层现象。

（2）LQFP 封装芯片 SAT 结果

reflow 前的 SAT 结果如图 7 所示，reflow 后 30M C-type 如图 8 所示，reflow 后 30M T-type 如图 9 所示。

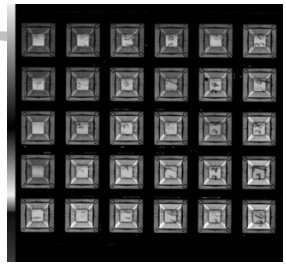


图 7　reflow 前

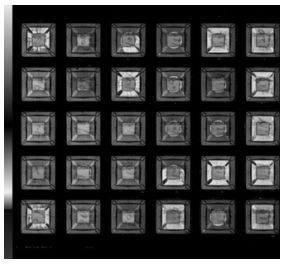


图 8　reflow 后 30M C-type

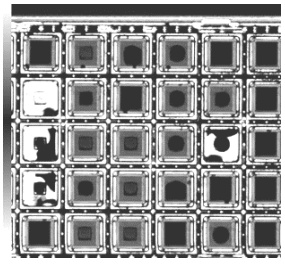


图 9　reflow 后 30M T-type

SAT 30M C-type 发现树脂与框架层有严重分层现象。SAT 30M T-type 发现芯片与框架层有严重分层现象。

3.4 reflow 后的 SAT 结果分析

将芯片开封，正面和背面分别如图 10 和图 11 所示。

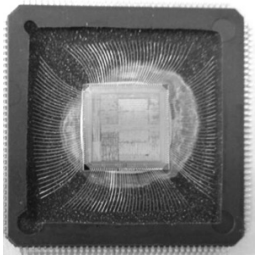


图 10 正面

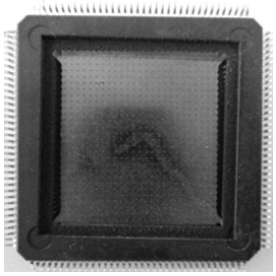


图 11 背面

SAT 发现分层样品，注塑研磨确认分层现状，研切位置如图 12 所示。

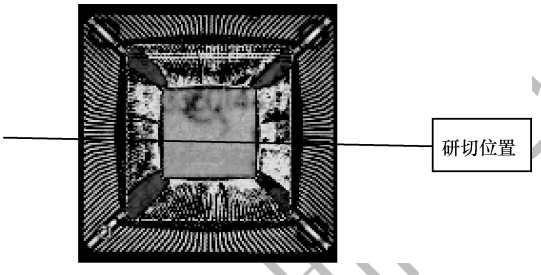


图 12 研切位置

研磨分析如图 13 所示。

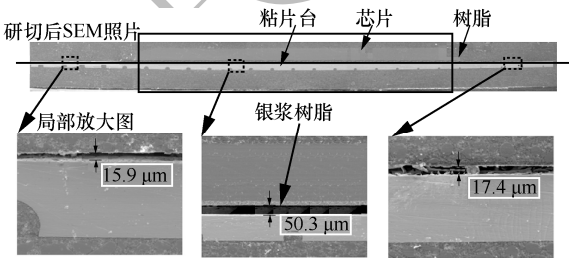


图 13 研磨分析

reflow 后的 SAT 结论：粘片台与树脂及银浆树脂发生分层现象，分层间隙为 16~50 μm。

4 吸湿和烘干分析结论

芯片在不封装保存的环境下，湿气一旦进入，即使烘干也会有部分湿气被锁住，锁住的水汽会和芯片内部的金线或银线产生化学反应，导致永久增重现象，反复暴露在空中即使烘干也会使锁住的水气增加，化学反应会越来越剧烈，最后导致芯片在焊接到电路板上时，经过高温回流焊导致芯片内水气膨胀，使得芯片出现分层并失效。

5 改善措施

对于芯片的封装可靠性，应尽量避免反复暴露于空气中，应保存在塑封真空袋内，使用时尽量取出后尽快用完；或在芯片管脚处涂抹三防漆防止湿气从管脚缝隙进入芯片内部，在已经焊接在电路板的主要芯片表面应涂抹三防漆，防止过多湿气进入芯片导致的整机失效。

6 结束语

本文对塑封集成电路在 reflow 过程中分层的原理、湿气敏感等级判定做了介绍和说明。塑封集成电路反复暴露在空气中是不可取的，进入的湿气会锁存在芯片内部，烘干并不能完全去除掉芯片内部的湿气，尽管有些芯片塑封料的抗吸湿能力强，但是湿气积少成多，应防微杜渐，尽量避免芯片长时间暴露于环境中。

参考文献：

[1] 赵润涛. 塑封 TQFP 器件及电子模块封装防潮性能的研究[D]. 上海: 中国科学院上海冶金研究所, 2000.

[2] 梅万余. 半导体封装形式介绍[J]. 电子工业专用设备, 2005, 34(5): 14-21.

[3] JEDEC. 非密封型固态表面贴装组件的湿度/回流焊敏感性分类: J-STD-020D.1[S]. 2008.

[4] JEDEC. 湿度敏感器件的等级划分、表示、处理和储存、包装及其使用要求: J-STD-033B.1[S]. 2010.

[5] JEDEC. 塑封表贴器件可靠性试验前的预处理: JESD22-A113F[S]. 2008.

虚拟现实技术在监造云平台中应用的研究

叶亚军，杜远征
（北京中电普华信息技术有限公司，北京 100089）

摘　要：提出了应用于监造云平台中虚拟现实技术的全景视频采集、影像拼接、视频压缩传输的技术方案，采用多路监控全景视频采集设备得到图像后进行图像配准、图像匹配、图像融合操作，将全景视频发送到云平台，实现制造车间全场景、全业务、全角度监造。

关键词：虚拟现实技术；全景视频采集；视频拼接技术；视频传输技术

1　引言

监造云平台技术是在工业互联网背景下，对传统驻场监造进行升级改造的产物。通过在线监造、虚拟现实展示、不定期巡检建立基于工业互联网的质量监造体系。其中应用虚拟现实技术实现对工厂生产设备的全景视频数据的采集和展示，可以使生产过程透明化、可视化，保障设备产品的生产质量，提升监造效率、降低监造成本，真正打造基于工业互联网的“虚实结合+远程监造”平台，构建“互联网+虚拟现实监造”的模式，引领工业互联网体系下智能监造领域的变革。

2　虚拟现实技术概述

虚拟现实概念最早由美国VPL Research公司创始人之一的Jaron Lanier在1989年提出，目前在各个领域得到了广泛的应用。虚拟现实是由交互式计算机仿真组成的一种媒体，能够感知参与者的位置和动作，替代或增强一种或多感官反馈，从而产生一种沉浸于或出现在仿真环境中的感觉。虚拟现实包含四个关键要素：虚拟世界、沉浸感、感觉反馈以及交互性。根据用户参与程度和沉浸感的不同，通常将虚拟现实系统分为：桌面式虚拟现实系统、沉浸式虚拟现实系统、分布式虚拟现实系统。

在智能制造业中虚拟现实技术逐渐被广泛应用，为制造业的研发、生产、管理、服务、销售和售后市场等各环节带来了深刻变革，进一步推动了智能制造的发展。基于虚拟现实打造的数字化模拟工厂能够对整个生产过程进行仿真、评估和优化，并进一步扩展到整个产品生命周期，推动生产组织方式变革。虚拟现实是数字化模拟工厂的核心技术，数字化模拟工厂是以产品全生命周期的相关数据为基础，利用虚拟仿真技术对制造环节从工厂规划、建设到运行等不同环节进行模拟、分析、评估、验证和优化，指导工厂的规划和现场改善。应用虚拟现实技术对全车间生产进行视频采集即是一种数字化模拟工厂的典型应用。

3　监造云平台概述

监造云平台是基于SGUAP平台开发的集数据采集、数据处理、数据展现三位一体的云平台，运用云计算技术、大数据技术、物联网技术、移动互联技术、人工智能技术，实现高信息化监造。监造云平台系统架构如图1所示。

边缘层采集设备全生命周期各类要素相关的数据和信息，包括传感器中取得能够反映设备运行工作状况和健康状态的数据、可能影响设备性能和运行状态的环境信息、设备全生命周期内所有的维护保养更换记录，打破以往设备独立感知和“信息孤岛”的壁垒，建立统一的数据环境。

IaaS层（基础设施即服务）按照活动目标和信息分析的需求进行选择性和有所侧重的数据采集，即在相同的传感和传输的条件下针对日常监控、状态变化、决策需求变化以及相关的活动目标的需求进行分析，自主调整数据采集与传输的数量、频次等属性，从而

人民邮电出版社出版

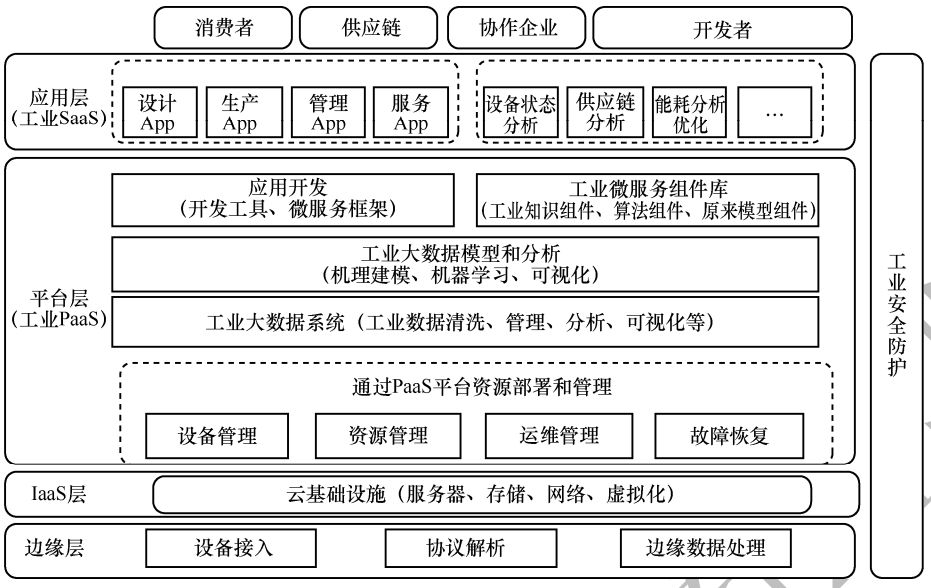


图 1　监造云平台系统架构

实现主动式、应激式传感与传输模式，提高数据采集的效率、质量、敏捷速度，实现以分析目标为导向的柔性采集策略。

应用层通过信息技术手段实时采集驻厂监造、出厂试验、抽检试验、到货验收等环节的质量信息，监造平台将包含供应商管理、生产管理、质量管理、物资管理、设备管理、数据展示六大模块。通过系统对质量信息进行标准化和结构化处理，经过进一步统计分析，支撑全方位供应商绩效评价，为采购高质量物资与设备提供依据。

平台层通过数据挖掘、数据处理和数据分析等手段，融合传统的大数据处理方式来建设监造云平台系统，实现产品交期可保、产品质量可追溯和产品责任可度量的目的。

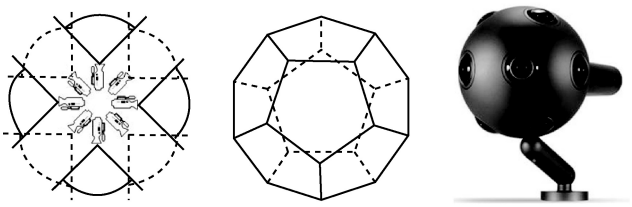
4　全景视频数据处理

4.1　全景视频采集

相较于普通生产过程视频监控不同，监造过程全景视频的采集需要多台摄像机同时完成。全景视频采集主要通过广角式镜头拍摄、电动云台摄像机拍摄、多路监控这 3 种方式完成。

广角监控摄像机是一种可视角度在 120° 以上的摄像机，理论上通过 3 台广角监控摄像机即可实现 360° 全景视频采集。但是当可视角度大于 120° 时，图像采集分辨率会降低，传感器采集的图像会出现桶形畸变，又称鱼眼图像效果，故在实际应用时会辅以鱼眼修正技术修正广角镜头产生的桶形畸变[1]。

电动云台摄像机与多路监控是两种常用的全景视频采集方式，二者的设备结构不同，但都应用了影像拼接技术。云台摄像机通过进行水平和垂直两个方向转动，通过拼接技术得到全景视频[2]。多路监控使用多个摄像头同步协同拍摄，获取水平方向上的 360° 视频图像，如图 2（a）所示。图 2（c）中的全景摄像设备是基于图 2（b）的正十二面体为模型[3]，同步拍摄视频后去除冗余部分得到上下方向 180° 水平方向全角度的图像。



（a）　（b）　（c）

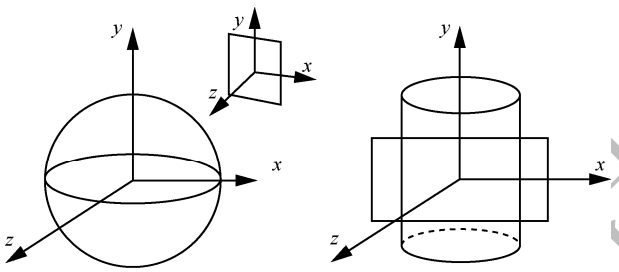
图 2　多路监控全景视频采集设备

应用多路监控设备实现全角度无缝拼接的视频采集，重点是实现各个摄像头的时钟同步。常见的同步方式有闪光同步，即检测所有相机视频帧内的“闪光”，如明亮帧、白色帧，利用这个闪光信号进行同步；运动同步，即检测所有相机视频帧内的运动信息，通过匹配各帧运动量进行同步；声音同步，即分析所有相机采集到的声音频谱进行同步；手动同步，即根据某一个时刻的所有相机采集的视频帧手动进行微调。

4.2 影像拼接

完成投影变换后需要对全景视频进行影响拼接，拼接过程主要有配准、特征提取、特征匹配、图像融合融合。配准的目的是根据几何运动模型，将图像映射到同一个坐标系中，在多幅图像配准的过程中，采用的几何运动模型主要有平移模型、相似性模型、仿射模型和透视模型等[4]。

图像配准是影响拼接的基础，图像配准的准确性决定了视频的拼接效果。全景视频拍摄过程中，同一物体的拍照角度不同，其在视频中呈现的二维投影就会有所差别，这会导致在视频匹配、拼接融合的过程中出现“虚化”，影响视频质量。应用投影坐标系，可以有效地校准不同角度下同一物体二维投影不一致的问题。图 3（a）为球面投影坐标系，可以配准上下方向 180° 水平方向全角度的多路监控，图 3（b）为柱面投影，可以配准水平方向全角度的电动云台摄像机。



(a) 球面投影　　(b) 柱面投影

图 3　球面投影与柱面投影

图像特征匹配是在图像配准后将大量冗余部分进行覆盖，使全景视频衔接完整。通过选取 SUSAN 图像检测算子对图像的边缘特征点进行检测[5]，再通过梯度特性图像特征描述子逐帧对图像进行匹配[6]，将不同帧的重复部分去除之后合成为全景帧，如图 4 所示。

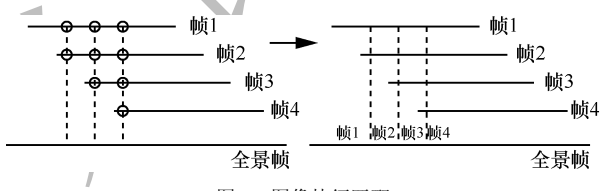


图 4　图像特征匹配

经过图像配准与图像特征匹配后得到全景帧组成的全景视频，但图像仍有亮度、饱和度上的差异。通常采用线性融合、多频带融合算法去除由曝光度不同的图像拼接后的色调不一致、设备失焦产生的图像重影等问题[7]。

4.3 视频传输技术

监造全景视频携带大量信息，每小时产生的数据量达 500 GB 以上，无法直接进行网络传输，需要进行编码压缩处理。编码压缩后的全景视频数据封装成流媒体格式，然后推送到远程服务端[8]。

视频编码流程是为了对监造现场获取的全景视频进行编码压缩，以适应网络带宽的限制。全景视频序列经过全景图拼接、分割再编码，通过去帧间、帧内冗余，输出 H.264 码流，数据压缩率可达到 100 倍以上。相比于 H.264 标准，H.265 压缩编码的压缩率可提高一倍，但是其算法复杂，工业应用难度较大，故多使用 H.264 标准。

全景视频中往往包含了制造车间获取的音频码流和视频码流，为保证传输的同步性，需将音视频信息封装成 FLV 流媒体文件进行网络同步传输。全景视频通过 RTMP 进行封装流媒体的实时网络传输，该协议基于 TCP，是用来进行实时数据通信的网络协议，支持目前主流 Flash/AIR 平台，支持 RTMP 的流媒体交互服务间的音视频数据通信[9]。

5 基于监造云平台架构的 VR 展示

监造云平台通过搭建流媒体接收服务端，依托 U3D 平台开发视频流媒体与 VR 设备的融合技术，最终提供全景视频在 VR 设备中播放的解决方案。

为实现流媒体接收，监造云平台借助 Nginx 搭建 RTMP server 作为流媒体服务器，实现占内存小、支持高并发的技术指标。为实现全景视频的 VR 设备中展示，监造云平台应用 U3D 平台建立展示端应用，导入 VR 设备对应的 SDK 开发包，配置摄像机位置、间距等参数。同时为方便视角在 VR 场景中转换，在 U3D 平中研发相关组件，发布后在 VR 设备上展示。

将全景视频采集、VR 展示等技术应用到智能监造领域，实现制造车间全场景、全业务、全角度监造，提升监造效率、降低监造成本，真正打造基于工业互联网的“虚实结合+远程监造”平台，构建“互联网+智能监造”的模式，引领工业互联网体系下智能监造领域的变革。

参考文献：

[1] DALOUKAS K, ANTONOPOULOS C D, BELLAS N, et al. Fisheye lens distortion correction on multicore and hardware accelerator

platforms[C]//IEEE International Symposium on Parallel & Distributed Processing, April 19-23, 2010, Atlanta, Georgia, USA. Piscataway: IEEE Press, 2010: 1-10.

[2] DAVISON A J, MAYOL W W, MURRAY D W. Real-time workspace localisation and mapping for wearable robot[C]//IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Oct 7-10, 2003, Tokyo, Japan. Piscataway: IEEE Press, 2003: 315-316.

[3] KLEIN G, MURRAY D. Parallel tracking and mapping for small AR workspaces[C]//IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Sept 15-18, 2008, Cambridge, UK. Piscataway: IEEE Press, 2008: 1-10.

[4] HUANG S G, DUAN N, CHEN X Y, et al. Application of image mosaic method in the detection of grinding wheel topography[J]. Advanced Materials Research, 2012(500): 302-307.

[5] SMITH S M, BRADY J M. SUSAN—a new approach to low level image processing[J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 23(1): 45-78.

[6] BIRCHFIELD S, TOMASI C. A pixel dissimilarity measure that is insensitive to image sampling[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1998, 20(4): 401-406.

[7] LEVIN A, ZOMET A, PELEG S, et al. Seamless image stitching in the gradient domain[J]. Proc Eccv, 2004: 377-389.

[8] SUKTHANKAR R, CHAM T J, SUKTHANKAR G. Dynamic shadow elimination for multi-projector displays[C]//2001 Computer Vision and Pattern Recognition, Dec 8-14, 2002, Kauai, HI, USA. [S.l.:s.n.], 2002: 151-157.

[9] SAWHNEY H S, ARPA A, KUMAR R, et al. Video flashlights: real time rendering of multiple videos for immersive model visualization[C]//13th Eurographics Workshop on Rendering, June 26-28, 2002, Pisa, Italy. [S.l.:s.n.], 2002: 157-168.

人民邮电出版社出版

蓄电池智能化管理新技术系统的设计应用

郭彦军，徐铎，贾战峰
（中国移动通信集团河南有限公司周口分公司，河南 周口 466000）

摘　要：解决蓄电池硫化问题，是提升蓄电池容量的主要方法。对蓄电池智能化管理新技术系统的可行性进行了分析，介绍了蓄电池智能化管理新技术系统详细内容和实施步骤，并在中国移动河南公司进行了应用部署，验证了该系统可以在线修复蓄电池硫化，对蓄电池组进行智能化监测和管理，有效延长蓄电池使用寿命，节省公司基站运营成本，确保网络安全、稳定、可靠运行，达到节能降耗的目的，实现公司低成本高效运营。

关键词：蓄电池；硫化；在线监测；在线修复；智能管理；节能降耗

1　蓄电池智能化管理新技术系统可行性

蓄电池作为直流电源系统中的最后一道防线，其重要性不言而喻，蓄电池组的稳定性和可靠程度，直接影响到供电系统的安全性。目前中国移动通信集团河南有限公司周口分公司（以下简称周口公司）在网运行蓄电池组超过 3 000 组，据统计在网运行的 20%蓄电池组存在不同程度的容量不足、放电性能下降的情况，而此问题大部分是蓄电池硫化造成的。若不进行有效预防及控制，将会大大缩短蓄电池使用寿命，造成大量蓄电池提前报废，浪费公司大量资源。

解决蓄电池硫化问题，是提升蓄电池容量的主要方法。周口公司和省网管中心通过自主研发设计 BMS 在线监测系统，采用脉冲谐波谐振技术对蓄电池进行在线监测、修复、还原，很大程度上修复蓄电池硫化问题，提升了蓄电池安全运行寿命。

该技术利用 BMS 设备采用 RS485 串口方式接入站点 FSU 监控设备，在原动力环境监控系统实时监控蓄电池组电压、电流、内阻、容量，能实现对单体电压、温度、内阻等数据的智能化分析，并详细记录蓄电池充放电过程、充放电曲线，实现蓄电池组有效监控和管理。

2　蓄电池智能化管理新技术系统详细内容和实施步骤

2.1　成果背景

对于通信站点设备重要性来说，蓄电池组是相当重要的供电保障设备，对蓄电池组的监测、管理和维护是日常维护工作中非常重要的内容。现阶段各局站的蓄电池由于市电停电频繁、板栅腐蚀、电解液失水、热失控等原因，经常出现蓄电池硫化严重、内阻增加、容量下降的现象，而目前的维护手段仅限于单体电压、总电压的测量和容量试验，并没有简单方便的方法来判别蓄电池的好坏，对于蓄电池的性能管理更是没有有效的手段。在串联蓄电池组中，能够放出多少电量，取决于容量最小的一只电池，整组寿命取决于最薄弱的一只电池，准确识别、修复蓄电池组中的失效电池，是目前急需解决的难题。

通过研发部署 BMS 蓄电池组管理系统，实现单体蓄电池电压、温度、内阻、容量等的采集，针对硫化蓄电池进行脉冲谐波修复，保障蓄电池设备处于良好的状态，有效控制单体蓄电池充放电管理，实现在线智能均衡管理，同时实现智能核对性放电管理、在线监测、故障告警上报、数据报表分析等功能。

通过对局站蓄电池组的智能精细化管理，消除故障隐患，有力地保障在市电停电时蓄电池组能够进行安全供电。同时降低运维成本，提升运维效率，有效延长蓄电池使用寿命，达到节能降耗的目的。

2.2　实施步骤

（1）BMS 网络架构及流程

蓄电池智能管理系统是基于现有动环监控系统架构，对蓄电池组进行针对性的专业监测和管理，对于一组蓄电池来说，可每 4 节蓄电池单体部署 1 个蓄电池监控单元，通过总线方式将所有的单元串接起来，该总线连接到一个接口转换通信单元，由接口转换器将总线接口转换为 RS232/485 串口进行信号输出。最

人民邮电出版社出版

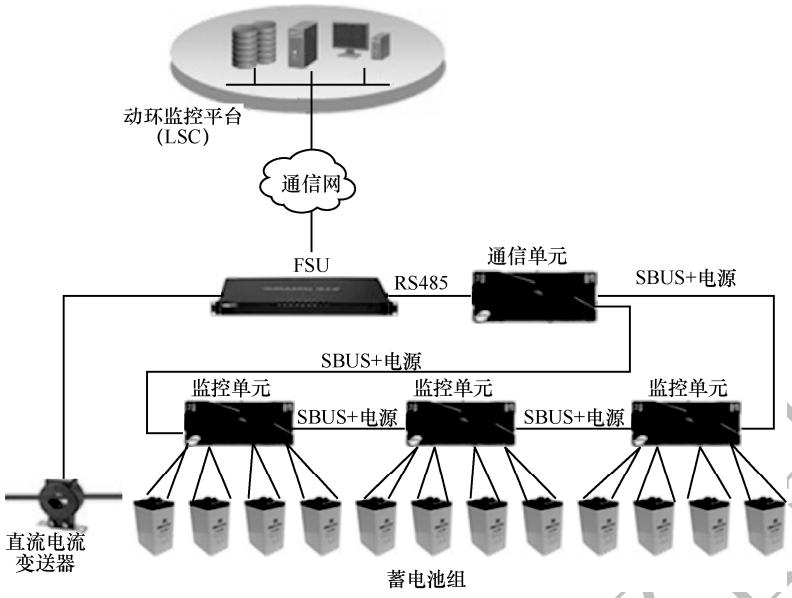


图 1　BMS 网络架构

终传送到监控单元的智能口，由监控单元进行协议解析，从而完成动环监控系统对蓄电池单体电压、电池温度、电池内阻、容量等监控量的采集。BMS 网络架构如图 1 所示，BMS 工作流程如图 2 所示。

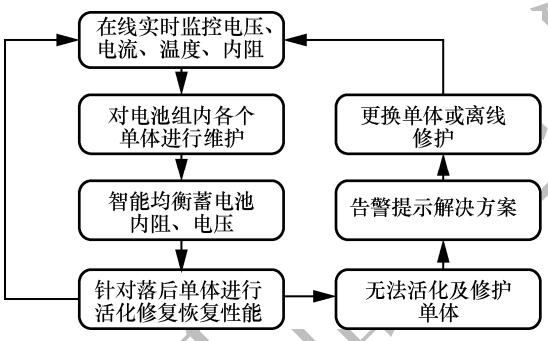


图 2　BMS 工作流程

（2）BMS 智能脉冲谐振修复

系统采用智能脉冲谐振技术对单体蓄电池进行维护管理，在线消除蓄电池硫酸铅结晶并防止新结晶产生，维护过程对蓄电池极板无任何损伤。单体电池无损修复过程如图 3 所示。

（3）BMS 智能均衡

系统对单体蓄电池进行在线无损修复后，对单体不均衡蓄电池进行补充充电、放电管理，实现蓄电池组均衡运行。BMS 智能均衡前后的蓄电池性能对比如图 4 所示。

（4）在线监测

实时显示当前各单节电池电压、内阻、电导率、容量、温度、组电压、组容量的运行数据，对数值超限以不同颜色予以标示，也可根据实际运行情况调整。

（5）实时告警预警

对电压、温度、内阻、容量等数值超限，进行实时告警，报警阈值可自由设定，并支持故障报警可采用短信、App 等方式互联。

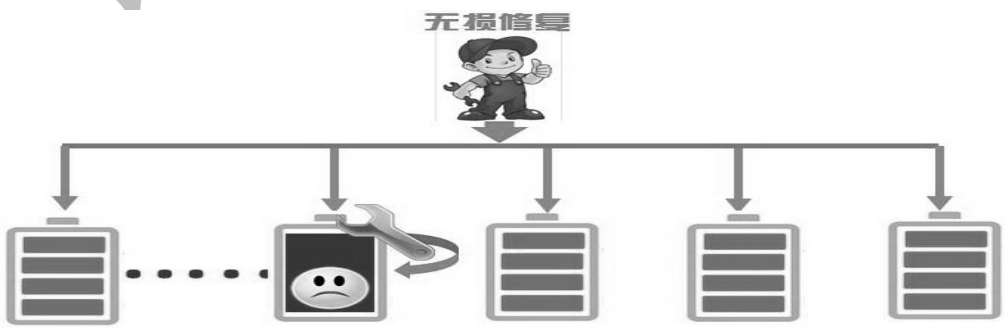


图 3　单体电池无损修复过程

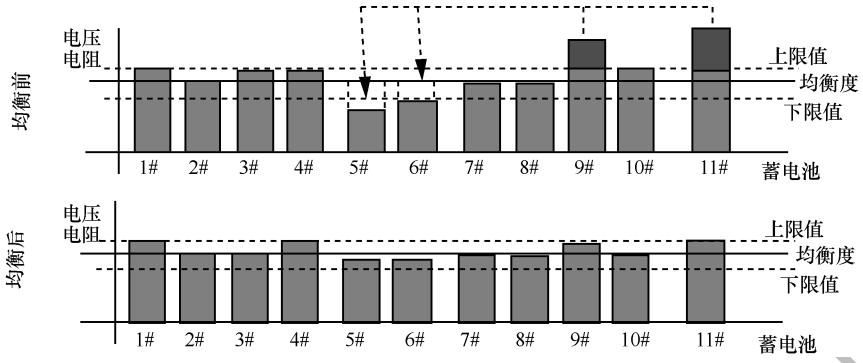


图 4　均衡对比

（6）性能报表分析

根据采集的数据分析各单体电池电压、内阻、容量及温度，以曲线图显示，并提供智能维护建议。

从创新、节能、节约成本及提高维护效率的角度，蓄电池综合管理系统，通过蓄电池的内阻检测，并根据蓄电池的充放电特性，综合分析每节蓄电池的优劣。在蓄电池综合管理系统采集了蓄电池单体电压、电流、内阻、容量之后，该数据被传送到监控中心，由网管软件进行分析并输出相应报表。

3　主要创新点

（1）直流脉冲法监测内阻

内阻直观反映蓄电池单体性能状况，蓄电池内阻的增大可以反映电池容量和性能下降的程度。监控单元采用直流脉冲放电法测量内阻，放电电流小，不但安全且对蓄电池不易造成伤害，便于在线测试。

（2）蓄电池容量均衡

通过对蓄电池单体补偿性充电或放电，实现对蓄电池单体的充放电电压动态调整，保证单体端电压一致。实现蓄电池检查维护自动化，减少了人工维护工作量，提升了蓄电池寿命，减少蓄电池报废量，节约了重复投入成本，降低了铅和硫酸对环境的污染。

（3）脉冲谐波谐振修复

铅酸蓄电池容量不足、放电性能下降，主要原因是极板出现硫化（粗颗粒硫化铅），导致极板和电解液之间导电性变差，蓄电池内阻上升，通过脉冲谐波谐振修复则是利用脉冲电流不同的频率和硫酸铅粗颗粒形成谐振，击碎粗颗粒，从而还原电池，提升蓄电池使用寿命。

（4）BMS 软件功能灵活

电池单体电压的监测为基本功能，电池温度监测、电池内阻监测、均衡活化功能可以选配，实现各个等级的电池管理需求；电池监测单元的数量可以灵活设置，因此可以适用于各种单体数量的蓄电池组，完全适用于开关电源电池、UPS 电池、高压直流设备等。

4　应用情况

目前河南移动已开展 BMS 蓄电池智能监测系统的部署，直接通过采用 RS485 接入原 FSU 动环主机，传送到原动环监控系统，安装方便，节约成本。已具备监测全省蓄电池设备运行参数，实时监控蓄电池充放电过程，有效估算蓄电池剩余容量、剩余时长、预测蓄电池寿命；通过 BMS 智能脉冲谐振技术，有效修复了大量硫化电池，通过在线均衡提升了蓄电池寿命，减少蓄电池报废量，大大节约了重复投入成本。

4.1　经济效益

通过使用 BMS 可有效节省投资成本。该成果通过实地应用，在周口公司商水、项城两县市应用 300 个基站机房，共计 600 组蓄电池，每套 BMS 研发部署费用为 2 000 元，一次性投入 600 组×2 000 元=120 万元，对比电池活化均衡后，电池安全使用寿命至少能延长 1 年，而局站蓄电池目前平均使用周期为 5 年，初步估算以 500 AH 电池进行核算，电池投资节省的费用约为：500 AH×1.5 元/AH×24 颗×600 组×0.2=216 万元，第一年的总节约费用为：216 万−120 万=96 万元。全省按 2 万组电池进行核算，每套 BMS 研发部署费用为 2 000 元，一次性总投资约为：2 万×2 000 元=4 000 万元。对比延长电池使用寿命一年：500 AH × 1.5 元/AH×24 颗×0.2×20 000 组=7 200 万元，全省推广可一年节约费用 7 200 万−4 000 万=3 200 万元。

4.2　应用价值及社会效益

BMS 在线智能维护，集中式管理，降低运维成

人民邮电出版社出版

本，提升运维效率；实时掌握蓄电池组状态，消除故障隐患，保障运营安全。在线无损修复，智能均衡，保证蓄电池组的最佳工作状态。有效延长蓄电池实际使用寿命，减少蓄电池报废比例，节能环保、降本增效。

5 结束语

蓄电池作为直流电源系统中最后一道防线，直接影响到直流供电系统的可靠性和安全性，蓄电池硫化现象，若不进行有效预防及控制，将会大大缩短蓄电池使用寿命，造成大量蓄电池提前报废，浪费公司大量资源，周口公司和省网管中心通过自主研发设计的蓄电池智能化管理新技术系统能够在线监测蓄电池性能，在线修复蓄电池硫化，对蓄电池组进行智能化监测和管理，有效延长蓄电池使用寿命，节省公司基站运营成本，确保网络安全、稳定、可靠运行，达到节能降耗的目的，实现公司低成本高效运营，为国家节省了大量的能源。

人民邮电出版社出版

一种 MCU 芯片在单相智能电表中的应用方法

张彦欣[1,2]，黎金旺[1,2]，杨立新[1,2]，白志华[1,2]

（1. 北京智芯微电子科技有限公司国家电网公司重点实验室电力芯片设计分析实验室，北京 100192；
2. 北京智芯微电子科技有限公司北京市电力高可靠性集成电路设计工程技术研究中心，北京 100192）

摘　要：介绍了一种 MCU 芯片在单相智能电表中的应用方法。分析了为满足国家电网公司单相智能电表的各功能要求，MCU 芯片中的各模块实现。最后给出了建议的软件实现流程，分析了这些流程的实现需要用到芯片中的哪些模块。

关键词：MCU；单相智能电表；电表应用；软件实现流程

1　引言

近几年，国家电网公司对智能电表规范进行了不断改进和完善。针对智能电表规范要求及芯片高集成化的发展趋势，研发出一款集成 LCD 液晶驱动以及带温度补偿 RTC 的单相智能电表专用 MCU 芯片。本文就该 MCU 在单相智能电表中的应用进行描述。

2　单相智能电表规范要求

根据单相智能电表规范，一块电表需要包括液晶显示及背光驱动电路、继电器控制电路、外部数据 EEPROM 存储电路、ESAM 安全模块及卡座接口电路、红外电路、载波接口电路、485 通信电路、计量电路、按键电路、声光报警电路、电源电路及连接至电表校表及秒脉冲输出端子的 I/O 输出等。在检测到线路断电需要电池供电时，需要切换到低功耗工作模式。

3　单相智能电表专用 MCU 芯片参数描述

针对单相智能电表规范要求，专用 MCU 芯片中实现了高性能低功耗 CPU、内嵌程序存储器及数据存储器、7816 接口、UART 接口、I2C 接口、SPI、具有温度补偿的 RTC、LCD 液晶驱动、定时器等。详情见表 1。

表 1　MCU 芯片中主要模块说明

序号	模块	描述
1	CPU ARM-Cortex M0	高性能、低功耗的 32 bit CPU 多个中断源 方便的调试接口
2	存储器	内嵌程序存储器 FLASH 内嵌数据存储器 SRAM
3	7816	支持两通道分时复用 支持 ISO/IEC 7816-3 协议 支持 master 工作模式 频率输出可配置
4	UART	3 路完全独立的 UART 支持 UART 通信协议 波特率可软件配置 帧格式可配置 支持红外调制输出
5	I2C	支持 1 路 I2C 支持 I2C 通信协议 支持主机工作模式 支持波特率可配
6	SPI	支持两路独立的 SPI 支持 SPI 通信协议 支持主设备工作模式 支持波特率可配 支持时钟极性和相位可配
7	RTC	高时钟精度 提供实时时钟和日历功能 闹钟功能
8	LCD 液晶驱动	支持多种 LCD 驱动模式 支持全亮、全灭功能 支持 1/3 和 1/4bias 支持灰度可调
9	定时器	至少 4 路独立 16 bit 定时/计数器 支持外部输入信号捕捉功能
10	比较器	输入可配置 输出极性可配
11	低压检测电路	检测电压范围 2.4~5 V 支持输入可配置
12	温度传感器	与 ADC 协同生成环境温度数据

4　MCU 各模块在单相智能电表中的应用

MCU 主控芯片与单相智能电表中各模块对应关系如图 1 所示。

水电部电力出版社出版

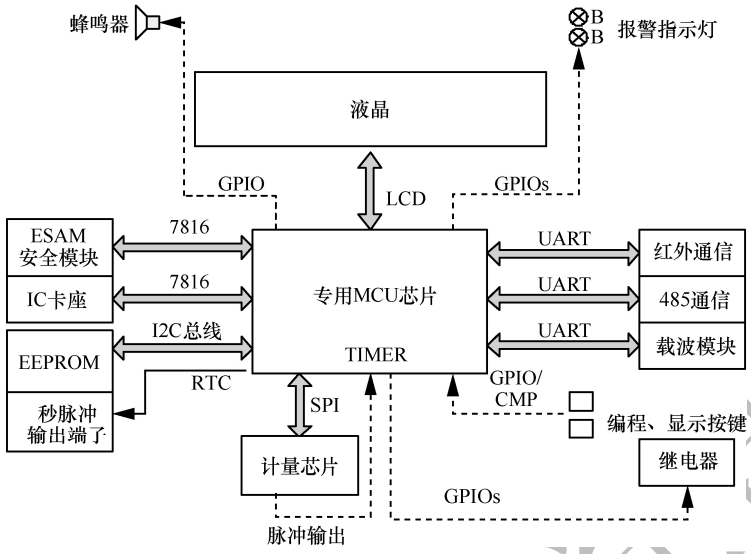


图 1　MCU 主控芯片与单相智能电表中各模块对应关系

4.1　UART 模块

远程命令和数据通过 UART 模块接收和发送。其中，一路 UART 可外接调制式红外设备，通信速率固定为 1 200 bit/s；一路 UART 可外接 485 通信电路，通信速率可设置成 1 200 bit/s、2 400 bit/s、4 800 bit/s、9 600 bit/s，默认值为 2 400 bit/s；一路 UART 可外接载波模块，通信速率固定为 2 400 bit/s。

三路 UART 与外设进行通信时均需要符合 645 帧协议。

4.2　I2C 模块

外接 EEPROM。整表应用中，计量芯片相关参数、事件记录、复位相关信息、电池信息、钱包相关信息、继电器卡状态等都存储在 EEPROM 中。

4.3　7816 模块

7816 通道 0 与外接的 ESAM 模块通信，通道 1 与外接的 IC 卡通信。

（1）对 ESAM 的处理

正常工作情况下，上电 5 s，复位并关闭 ESAM 通路。在需要身份认证及安全认证编程标志失效时打开 ESAM 通路。关闭 ESAM 通路的情况还有：非安全认证期间、钱包处理后安全认证编程标志失效、身份认证时效到期时（5 min）、设置身份认证时效时身份认证失效、远程修改表号时安全认证编程标志失效、读取运行信息文件中的密钥信息后安全认证编程标志失效。

关闭 ESAM 通路会依次关闭 7816CLK、关断 ESAM 电源、设置 7816CLK 和 SAMIO 管脚为 I/O 口并输出低电平。

相应地，打开 ESAM 通路会依次打开 ESAM 电源、设置相应管脚为 7816CLK 和 SAMIO 并将复位管脚拉低。

（2）对 IC 卡的处理

正常工作情况下，检测到 IC 卡插入后打开 IC 卡通路对 IC 卡进行处理，处理完毕后关闭 IC 卡通路。

关闭 IC 卡通路会依次关闭 7816CLK，并将复位管脚拉低。

打开 IC 卡通路会设置相应管脚为 7816CLK 并打开 7816CLK。

4.4　GPIO 模块

用于继电器闭合控制、液晶显示的背光控制、ESAM 的电源控制和复位控制、IC 卡的复位控制、声光报警电路（控制 LED）、按键电路（正常工作模式下循显按键、开盖检测、编程按键、继电器检测）。

4.5　SPI 模块

外接计量芯片。通过 SPI 完成对计量芯片的配置以及计量数据的读取。

4.6　LCD 模块

外接 LCD 显示屏。LCD 显示在正常工作情况下打开，进入低功耗模式前关闭，按键唤醒后打开并在显示定时器计数结束后关闭。直到电源电压恢复正常，电表重新从头执行程序，将 LCD 显示打开。

人民邮电出版社出版

4.7 比较器模块

睡眠模式下，比较器 1 用于按键唤醒，比较器 2 用于开盖检测。

其中睡眠唤醒按键可与正常模式下的循显按键使用同一个管脚，正常情况下配置成 GPIO 输入功能作为循显按键，睡眠前配置成比较器 1 输入端，按键唤醒后重新配置成 GPIO 输入功能。

停电开盖检测可与正常模式下的开盖检测使用同一个管脚，正常情况下配置成 GPIO 输入功能作为开盖检测，进入低功耗模式前配置成比较器输入端。

4.8 RTC 模块

为单相智能电表系统提供实时时钟。

正常工作情况下只使能秒中断；睡眠时只使能小时中断，按键唤醒后再使能秒中断直到停电显示时间定时器计完。

RTC 模块输出管脚用于输出 RTC 内部计时时标（周期 1 s，占空比 1:1 的方波）。脉冲输出连接到电能表秒脉冲输出端子。

4.9 定时器模块

定时器的计数源与计量电路的有效脉冲输出相连，用于对计量电路输出的有效脉冲 ACTIVEP 进行计数。计量芯片每 1 kW·h 输出 1 200 个脉冲。定时器模块会对这些脉冲进行计数。每计数一个有效脉冲都会发生一次比较发生中断并输出一个宽度为 80 ms 的脉冲。每计数 12 个脉冲（即发生 12 次比较发生中断，电表走电 12/1 200=0.01 kW·h），电表进行一次正反向电量累计处理和金额处理。

4.10 PTAT 模块

用于环境温度的测量，与 ADC 模块协作提供温度数据。

4.11 ADC 模块

正常工作模式下，可使用 ADC 模块的其中一个通道进行电池电压检测，使用另一通道进行一次温度检测。低功耗模式下关闭 ADC 模块。

4.12 低压检测模块

用于检测电源电压。由于芯片供电电压为 5 V，阈值电压可设置为 4.2 V。低压检测模块确定欠压发生的情况下，控制电表进入低功耗模式。

5 建议软件流程及各流程与 MCU 芯片关系

单相智能电表可采用前后台系统。应用程序为一个无限的循环，循环中调用相应的函数完成相应的操作，这部分可以看成后台行为（background）。中断服务程序处理异步事件，这部分可以看成前台行为（foreground）。

对于需要周期性完成的操作，若周期小于 1 s，单相智能电表程序中可使用定时器来定时；若周期为大于 1 s 的整秒，可使用 RTC 秒计时来定时。

5.1 通信处理

通过 UART 的某个通道接收一帧 645 数据后进行处理。T645-2007 通信规约中包括广播校时、读数据、读后续数据、读通信地址、写数据、写通信地址、冻结命令、更改通信速率、修改密码、最大需量清零、电表清零、事件清零、跳合闸、报警、保电、多功能端子输出控制、安全认证等命令。这些命令的处理涉及 MCU 芯片中的 7816 模块、I2C 模块、ADC 和 PTAT、RTC 模块等。UART 通信处理如图 2 所示。

5.2 读时钟

与芯片的 RTC 模块相关。

单相智能电表程序中除了周期性执行一次读时钟的操作，在以下情况下还会读时钟：

- 系统初始化中；
- 睡眠前保存数据到 EEPROM 中时会读当前时钟作为掉电时间；
- 上电唤醒后会读当前时钟进行停电分钟计算；
- 开盖唤醒后会读当前时钟并在开盖检测时将此信息同开盖后正反向电量一起保存到 EEPROM 中；
- RTC 小时唤醒后会读当前时钟，将读出的时钟信息与 EEPROM 中存储的结算日信息相比，若一致说明为结算日从而进行正反向电量校验及本月用电量转存和清零处理。
- 通过 UART 接收到广播校时命令或者写参变量命令时会读当前时钟。

5.3 IC 卡处理

本函数的实现与芯片的 GPIO、I2C、7816 模块相关。

当有卡片插入时，执行以下流程来判断插入卡的类型，并可参考国家电网智能电表标准——智能电能表信息交换安全认证规范条文解释的相关部分执行相应操作流程。IC 卡处理流程如图 3 所示。

水电邮电出版社出版

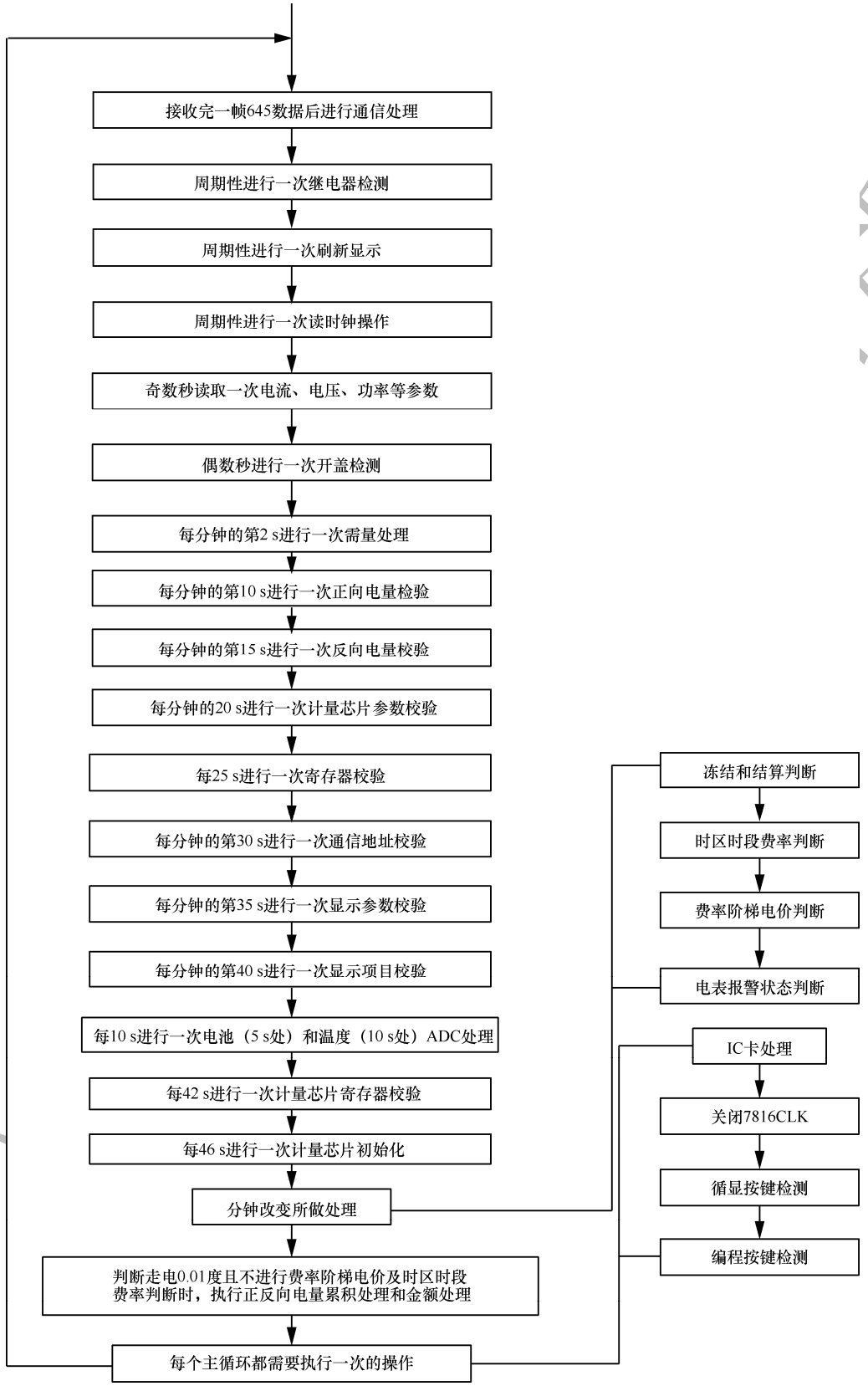

接收完一帧645数据后进行通信处理
周期性进行一次继电器检测
周期性进行一次刷新显示
周期性进行一次读时钟操作
奇数秒读取一次电流、电压、功率等参数
偶数秒进行一次开盖检测
每分钟的第2 s进行一次需量处理
每分钟的第10 s进行一次正向电量检验
每分钟的第15 s进行一次反向电量校验
每分钟的20 s进行一次计量芯片参数校验
每25 s进行一次寄存器校验
每分钟的第30 s进行一次通信地址校验
每分钟的第35 s进行一次显示参数校验
每分钟的第40 s进行一次显示项目校验
每10 s进行一次电池（5 s处）和温度（10 s处）ADC处理
每42 s进行一次计量芯片寄存器校验
每46 s进行一次计量芯片初始化
分钟改变所做处理
判断走电0.01度且不进行费率阶梯电价及时区时段
费率判断时，执行正反向电量累积处理和金额处理
每个主循环都需要执行一次的操作
冻结和结算判断
时区时段费率判断
费率阶梯电价判断
电表报警状态判断
IC卡处理
关闭7816CLK
循显按键检测
编程按键检测

图 2　UART 通信处理

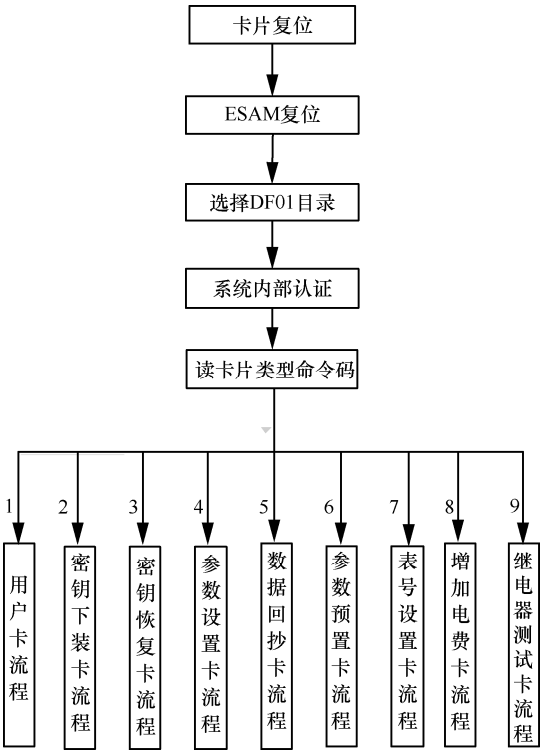


图 3　IC 卡处理流程

5.4　校验相关处理

流程中校验相关处理流程，诸如正反向电量校验、计量芯片参数校验、显示参数校验等都跟 MCU 芯片中的 I2C 芯片有关。若校验结果显示 CRC 错误则从 EEPROM 中恢复正确数据。

5.5　功耗控制

MCU 芯片除了正常工作模式，还提供了低功耗模式，以满足单相智能电表在无主电源供电而由电池供电时的低功耗需求。

低功耗模式的进入条件为低压检测模块 LVDT 的欠压标志为 1。在低功耗模式下，MCU 芯片可配置被 LVDT 模块、比较器（停电开盖检测或者按键唤醒）或者 RTC 定时唤醒。

进入低功耗模式的流程可参考图 4。

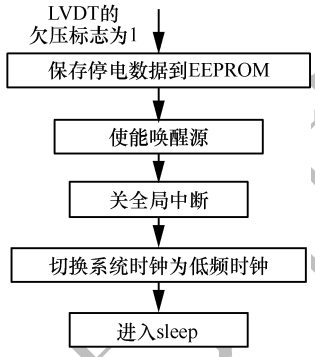


图 4　低功耗模式进入流程

退出低功耗模式的流程图可参考图 5。

6　结束语

综上所述，本文描述了单相智能电表的功能要求以及推荐软件流程实现，并给出了 MCU 是如何满足这些功能要求及流程的。分析说明此 MCU 芯片完全符合单相智能电表规范要求，可在电表方案中采用。

参考文献：

[1] 国家电网公司. 第二分册型式、功能、安全规范条文解释[R]. 2009.

[2] 国家经济贸易委员会. 多功能电能表 T645-2007 通信规约: DL-T 645-2007[S]. 2007.

[3] 国家电网公司. 单相智能电能表技术规范、功能规范、信息交换安全技术规范: 1307004-0000-a0[S]. 2009.

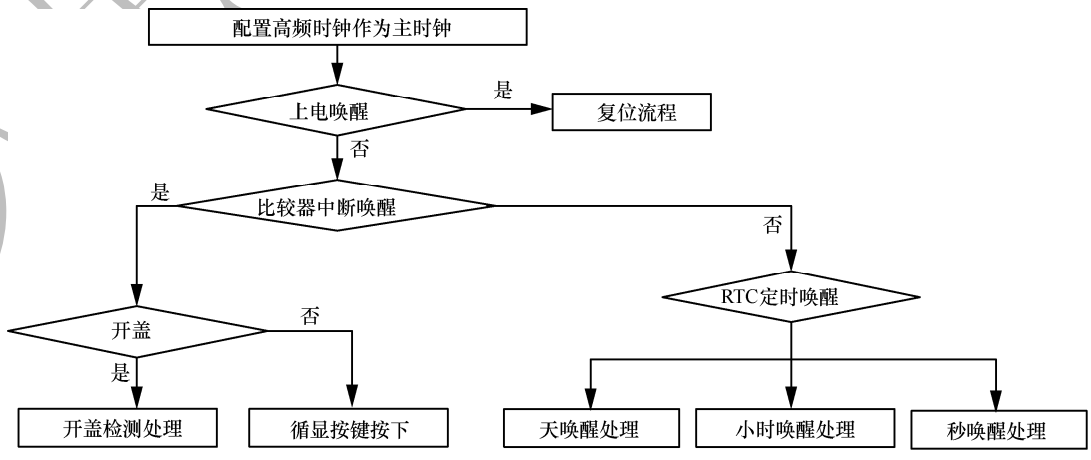


图 5　低功耗模式退出流程

一种测量集成 VGA 的方法

张志伟[1,2]，唐晓柯[1,2]，李铮[1,2]，罗丹[1,2]

（1. 北京智芯微电子科技有限公司国家电网公司重点实验室电力芯片设计分析实验室，北京 100192；
2. 北京智芯微电子科技有限公司北京市电力高可靠性集成电路设计工程技术研究中心，北京 100192）

摘　要：VGA（PGA）是一种电子放大器，放大器的指标通常可以用网络分析仪进行测试。有的芯片由于设计原因，无法直接用网络分析仪进行测试。介绍了一种测量这类 PGA 芯片的方法，首先阐述了测试原理，然后介绍了测试方法，最后以某款芯片为例进行测试，结果表明提出的方法可以测量 VGA。

关键词：集成；PGA；测量；方法

1　引言

在电子系统中，VGA 作为可变增益放大器，应用非常广泛。根据不同应用场合，重点测试的指标包括增益步长准确性、频带范围增益平坦性等。

通常情况，这些指标可以用网络分析仪进行测试。但在某些芯片中，由于各种原因，用网络分析仪直接测试比较困难。原因如下。

- 随着集成度越来越高，在特定的应用场合，VGA 与 ADC 集成在同一颗芯片上。同时由于芯片封装也越来越小，引出的管脚也非常精简，VGA 的输出信号的管脚没有封装到片外，直接连接了后级 ADC。在这种情况下，无法直接测试 VGA 的性能。
- 不同增益时，待测芯片的输入阻抗不同，通常在几百欧姆到几千欧姆。而测试仪的输入输出阻抗通常不可调，比如 50 Ω或 75 Ω。
- 差分输入、差分输出。
- 放大器不只包括放大功能，同时还有衰减功能，所以要求测试设备有足够的输出功率。而网络分析仪的最大输出电压不够。

基于以上原因，需要寻找一种测试方案完成测试。

2　测试原理

根据增益的定义：Gain(dB)=20log(V_{out}/V_{in})，只要测出差分输出、差分输入电压的幅度值，就可以算出电压增益。然后用描点法，可以绘出 VGA 相应频率和相应配置下的增益曲线。

在芯片内部，VGA 的模拟输出 PAD 与 ADC 的模拟输入 PAD 直接相连。而在芯片外部，没有把 VGA 模拟输出 PAD 引到 P_{in}，因此可以利用内部 ADC 的数字输出完成测试。但片内 ADC 的数字信号不能直接用示波器测量，需要制作 DAC 转换板，将数字信号转换成模拟信号，便于用示波器观察和测量。

针对输入阻抗不同的特性，可以使用匹配变压器。变压器可以起到差分—单端的转换或者单端—差分的转换以及阻抗匹配的转换。但是由于输入阻抗的变化。先测量变压器在不同输入阻抗的变压比。修正测量结果。

针对网络分析仪输出电压不足，可以选择其他信号源。

测试原理如图 1 所示。

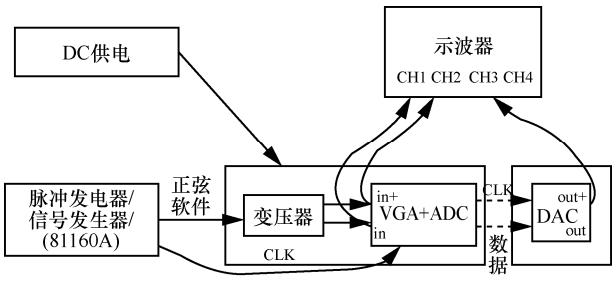


图 1　测试原理

3　测试方法

样品采用 TQFP80 封装芯片，测试板使用 TQFP80 适用的 Yamaichi 的 Test Socket，也可以将被测芯片直接焊在 PCB 上，如图 2 所示。

人民邮电出版社出版

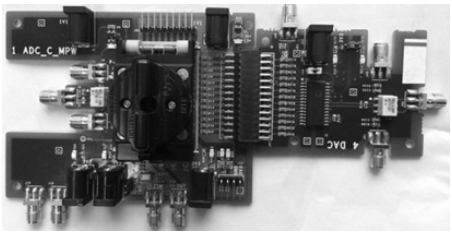


图 2　测试 PCB

选择 DAC 的时钟或数据可以与 ADC 对接的芯片。DAC 板使用 ADI 公司的 AD9742 28-Lead SOIC，该芯片具有 12-BIT、210MPS 的转换能力。性能指标可以满足本次测试。正弦波发生器使用 Keysight 公司的脉冲函数任意噪声发生器 81150A。芯片 ADC 的时钟也可以用这个仪器。测量信号幅度使用 Keysight 公司的示波器 DSO7104B。供电使用 Keysight 公司的低噪声直流电源 6629A。

仪器设置的关键点说明如下。

脉冲函数任意噪声发生器使用 81150A。输出信号的频率选择：需要在可测试的频率范围内；频率点要避开 ADC 的采样时钟的约数。比如，ADC 采样时钟为 50MHz，信号频率不能是 1 MHz、2 MHz、2.5 MHz、5 MHz 等频点。

示波器不仅需要测量 DAC 输出的模拟信号，同时也要测量 VGA 的输入信号。虽然信号源输出信号的幅度是准确的，但由于后级匹配电路的阻抗很难完全匹配，受此影响，到达芯片与信号源输出差别很大。因此，芯片的输入信号也需要一起测量。同时，示波器使用高阻模式。使用示波器的平均功能，减少随机噪声带来的误差。使用示波器的测量统计功能，进一步减小测量误差。使用示波器的 Math 功能，可以直接测量差分结果 $f(t)$=CH2-CH1。

4　测试案例

测试案例仅以智芯公司研发的某款芯片进行说明。此芯片包括 VGA、ADC 以及其他部分。差分输入阻抗见表 1。

表 1　输入阻抗

增益（最小）/dB	增益（最大）/dB	输入阻抗/Ω
−18	−13	3 200
−12	−7	1 600
−6	−1	800
0	54	400

先测量输入变压器带来的误差。变压器变压比与增益的关系见表 2。

表 2　变压器变压比与增益

设置增益/dB	变压器变压比	变压器增益/dB
−18	1.017 2	0.148
−17	1.017 0	0.146
−16	1.019 0	0.163
−15	1.017 4	0.150
−14	1.018 9	0.162
−13	1.019 1	0.164
−12d	1.011 0	0.095
−11	1.011 6	0.100
−10	1.014 6	0.126
−9	1.012 9	0.112
−8	1.014 5	0.125
−7	1.006 5	0.056
−6	0.997 0	−0.026
−5	0.999 3	−0.006
−4	0.997 8	−0.019
−3	0.999 2	−0.007
−2	0.997 2	−0.024
−1	0.996 9	−0.027
0	0.979 7	−0.178
1	0.979 9	−0.176
2	0.983 0	−0.149
3	0.988 9	−0.097
4	0.991 1	−0.078
5	1.000 0	0.000
6	1.004 2	0.036
7	1.014 0	0.121
8	1.000 0	0 .000
9	0.970 4	−0.261
10	0.973 4	−0.234
11	0.974 1	−0.228
12	0.975 9	−0.212
13	0.982 1	−0.157
14	0.984 8	−0.133
15	0.988 7	−0.099
16	0.987 3	−0.111
17	0.992 9	−0.062
18	0.992 1	−0.069

人民邮电出版社出版

如果以信号源的输出值作为计算 VGA 的输入值，测试结果会有−0.26~0.17 dB 的测试误差。

在给定频率下测量增益步长准确性，结果见表 3。

表 3　增益步长

设置增益/dB	测试增益/dB	测试步长/dB	设计步长/dB	步长误差/dB
−18	−17.10	−	−	−
−15	−14.20	2.89	3	−0.11
−12	−11.30	2.91	3	−0.09
−9	−8.34	2.96	3	−0.04
−6	−5.45	2.89	3	−0.11
−3	−2.50	2.95	3	−0.05
0	0.31	2.81	3	−0.19
3	3.21	2.89	3	−0.11
6	5.45	2.24	3	−0.76
9	8.78	3.33	3	0.33
12	11.38	2.61	3	−0.39
15	14.26	2.88	3	−0.12
19	17.14	2.87	3	−0.13
21	20.09	2.96	3	−0.04
24	23.15	3.06	3	0.06
27	26.14	2.99	3	−0.01
30	29.09	2.95	3	−0.05
33	32.15	3.06	3	0.06
36	35.10	2.94	3	−0.06
42	37.84	2.74	3	−0.26

测试结果表明，增益误差范围为−0.76~0.33 dB。

给定增益下，频率平坦性测量结果见表 4。

增益曲线并不平坦。原因是内部包含了低通滤波器。

5　结束语

本测试方法提供了容易实现的测量 VGA 的方法。使用信号源和示波器，即可完成某些网格分析仪不能测试的芯片。解决衰减段和低增益段，由于 VGA 输入端阻抗匹配，导致仪器输出电压不准的误差估计；解决输入输出差分；解决 DAC 转换问题；解决网分输出电压幅度不够的问题。

表 4　频率平坦性测量结果

频率/MHz	输入/mV	输出/mV	增益/dB
0.9	886.8	894.1	0.07
2	893.6	900.7	0.07
3	894.6	892.4	−0.02
4	893.2	867.0	−0.26
5	891.0	836.9	−0.54
6	888.2	803.2	−0.87
7	882.8	763.8	−1.26
8	877.2	720.6	−1.71
9	871.4	672.7	−2.25
10	866.0	622.5	−2.87
11	861.4	571.4	−3.57
12	856.8	517.5	−4.38
13	851.8	462.7	−5.30
14	853.2	409.5	−6.38
15	844.4	357.8	−7.46

当输入信号幅度较大时，可以直接测试变压器后的信号幅度，误差较小。误差主要来源是测量设备的精度。当输入信号幅度变小后，信号源的输出电压乘以变压器的变压比作为 VGA 的输入电压，变压器变压比的波动成为测量误差的主要因素。

参考文献：

[1] Analog Device. AD9742 datasheet[R]. 2013.

[2] Agilent Technologies. Agilent 81150A and 81160A pulse function arbitrary noise generators data sheet, version 1.1[R]. 2012.

[3] Agilent Technologies. Agilent InfiniiVision 7000B series oscilloscopes data sheet[R]. 2011.

[4] Agilent Technologies. Agilent InfiniiVision 7000B series oscilloscopes user's guide[R]. 2015.

水电部电力出版社出版

一种基于 PCIe 接口的高速安全芯片设计

金锐[1,2]，胡晓波[1,2]，陈奎林[1,2]，于艳艳[1,2]，李娜[1,2]，臧仕平[1,2]，孙静莹[1,2]
（1. 北京智芯微电子科技有限公司国家电网公司重点实验室电力芯片设计分析实验室，北京 100192；
2. 北京智芯微电子科技有限公司北京市电力高可靠性集成电路设计工程技术研究中心，北京 100192）

摘　要：根据电力系统高速加密应用需求，设计了一种高速高安全的 SOC 芯片。该芯片采用 PCIe 串行总线通信接口，内部集成多个安全算法模块，包括分组算法、公钥算法和散列算法，芯片整体采用高等级安全防护策略，并针对侧信道攻击和故障攻击设计密码算法防护方案。该芯片已经过工艺厂流片，实际芯片功能测试结果显示，高速安全芯片功能正确、运算速度快，加密运算数据吞吐率可达 3 Gbit/s。

关键词：PCIe 接口；高速安全芯片；故障攻击

1　引言

数据加密作为信息安全的核心技术，在军工、金融、电力等领域发挥着重要作用。随着信息技术的发展，加密运算的复杂度不断提升，运算的数据量持续增加，这都对系统性能提出更高的要求。软件加密方法在性能和稳定性方面已无法满足要求，硬件加密方式将是未来加密技术的发展方向[1-2]。传统硬件加密系统是在 PCB 上集成多颗芯片和分立元件，不仅占用面积资源大、成本高，而且存在系统复杂度高、安全性和可靠性差等诸多问题[3-4]。因此，高度集成的 SOC 芯片解决方案具有明显优势。实际应用中，硬件加密大多采用机内总线卡加密方式，原来的 PCI 并行总线通信接口带宽有限，PCIe（peripheral component interconnect express）是新一代总线和接口标准，2001 年由英特尔公司提出，具有高带宽传输、连接简单、传输速率高等优点，因此 PCIe 总线接口已成为主流。另外，近年来侧信道攻击和故障攻击技术的迅速发展，对安全芯片的数据安全提出严峻挑战，针对芯片防护技术的研究受到广泛关注[3-5]。本文针对高速数据加密的应用需求，提出了一种高速高安全的 SOC 芯片架构，并设计了基于 PCIe 接口的高速安全芯片。该芯片内部集成多种密码算法，特别针对故障攻击设计了防护机制，同时测试算法性能最高可达到 3 Gbit/s。

2　芯片整体架构

2.1　PCIe 总线接口

随着系统对通信带宽的需求越来越高，原来的并行总线无法满足带宽要求。串行总线具有传输速度快、扩展性好的优势。PCIe 总线架构为点对点串行连接，利用高速双通道高带宽传输[5-6]。PCIe 使用的是高速差分总线，与单端并行信号相比，高速差分信号可以使用更高的频率，从而使用更少的信号线，可以达到 PCI 总线所不能提供的高带宽。同时，PCIe 具有功耗低、软件可向后兼容 PCI 等特点，所以 PCIe 总线被广泛应用在高速高性能系统中。目前，PCIe 总线技术已成为新一代互联技术的主流。

2.2　高速芯片架构

首先，本文提出基于 PCIe 接口的高速安全芯片整体架构。芯片整体架构包括了高速总线、CPU、安全存储单元、直接访问控制单元（DMA）、密码运算单元、接口单元等功能模块。其中，系统总线包含 AHB 总线、APB 总线和 AXI 总线。总线上数据的传输和搬移由 DMA（direct memory access）完成，DMA 模块传输速率高，具有快速传输大量数据的能力，可以满足数据传输的实时性和高速性要求。

下面主要介绍整个芯片的数据处理过程，如图 1 所示，数据通路可分为两种情况。首先，在第一个数据通路，当待处理数据流从 PCIe 接口送入时，会被

基金项目：国家电网公司总部科技项目“芯片电路级抗物理攻击关键技术研究及样片研制”（No.546816170002）

人民邮电出版社出版

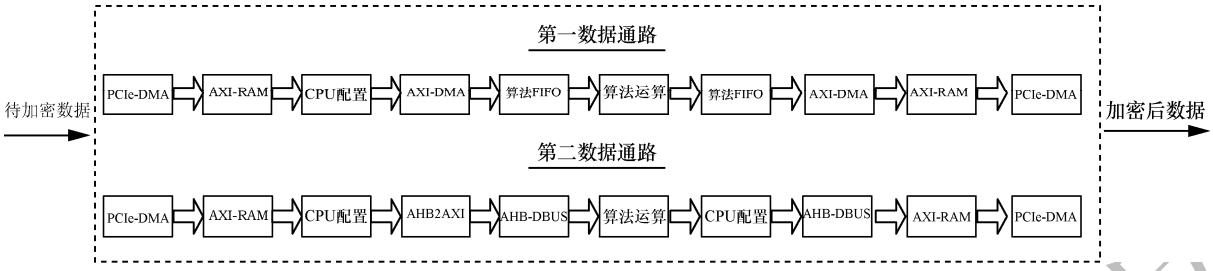


图 1　高速安全芯片数据通路

PCIe 接口模块内嵌的 DMA 搬运至 AXI 总线上的 RAM 存储区。接下来，片内 CPU 会对存储在 AXI-RAM 中的数据进行解析，如果该组数据需要用对称算法模块进行加解密运算或进行散列运算（SHA），CPU 会配置挂载在 AXI 总线上的 DMA，将 RAM 中存储的数据经 AXI 总线搬移至算法模块的输入缓存 FIFO（先入先出队列）中。数据准备好后，CPU 将配置并启动相应算法模块。待算法模块处理完毕后，CPU 会配置 AXI-DMA 将输出缓存 FIFO 中的加解密运算结果数据经 AXI 总线搬移至 AXI-RAM 中。最后，CPU 会对 RAM 中的数据进行组帧，然后通过 PCIe 接口发送出去。

另一种情况下，数据处理过程是：当待处理数据流从 PCIe 接口送入时，首先会被 PCIe 内嵌的 DMA 搬入 AXI-RAM 中，CPU 接下来对存储在 AXI 总线 RAM 中的数据进行解析，如果该组数据需要用非对称算法模块进行加解密运算或签名验签，CPU 会通过 AHB2AXI 桥接单元将数据经过 AHB 数据总线 DBUS 搬移至非对称算法模块相关寄存器中。数据准备好后，CPU 会配置并启动相应算法模块，待算法模块处理完毕后，CPU 会将数据经 AHB 数据总线 DBUS 搬移至 AXI-RAM 中，接下来 CPU 会对 AXI-RAM 中的数据进行组帧，然后通过 PCIe 接口发送出去。一般来说，非对称算法模块待处理的数据量较小，PCIe 内嵌 DMA 也可直接通过 AXI2AHB 桥接单元将数据搬移至相应算法模块中。

在数据处理性能方面，虽然采用了高速接口和高速加密模块，但是每个数据分组在完成接收、加解密、发送这几个步骤时，都会占用一定时间。因此，为了提高数据处理效率，除 PCIe 通信接口外，其他数据路径可并行进行传输，所有算法模块也可并行数据计算。同时，对称算法模块内部也集成了多核组件，可同时处理并发数据，每个算法核都集成了乒乓 FIFO，加大了数据的吞吐率及加解密处理能力。此外，该架构中处理器单元也集成了紧耦合存储器 CCM_RAM 及 cache（高速缓冲存储器），取指令及数据操作时 CPU 可直接单周期访问 RAM 资源，无须经过 AHB 总线。上述关键技术大大增强了系统的调度能力。芯片总线数据防护机制示意图如图 2 所示。

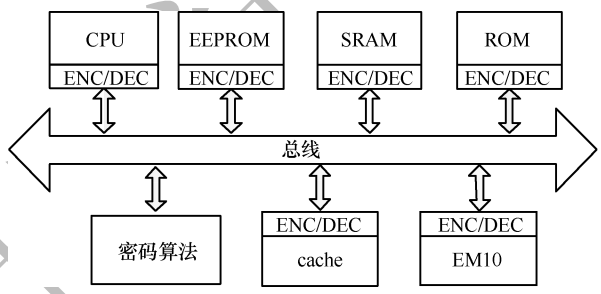


图 2　芯片总线数据防护机制示意图

在安全性方面，整个芯片架构，具有较高的安全等级，所有 AHB 总线上的存储单元，包括 AHB-RAM、AHB-ROM、NVM、cache、CCM_RAM 等均集成了加解密模块（MEM_ENC）及校验模块（MEM_CHK），所有存储数据均经过加密及校验处理。AHB Master（CPU、DMA）对算法组件的访问须经过轻量级加解密模块（LENC）处理。对存放核心敏感数据的 NVM 增加了权限控制单元 MEM_AC。同时芯片引入了监测电路，集成了高低电压检测报警 VD、高低频率检测报警 FD、温度检测报警 TD、光检测报警 LD、电压毛刺报警 PGD，通过安全管理单元 SMU，当外界环境异常可发出警告标志，使芯片对敏感数据进行擦除或直接复位。

3　安全算法电路设计

3.1　算法电路整体结构

密码算法模块是整个芯片的关键模块。为保证不同应用场景下的加密需求，芯片内部集成了多种加密算法模块，其中分组算法包括 SM1、SM4、SM7、DES，公钥算法有 SM2 和 RSA，杂凑算法包含 SM3 和 SHA

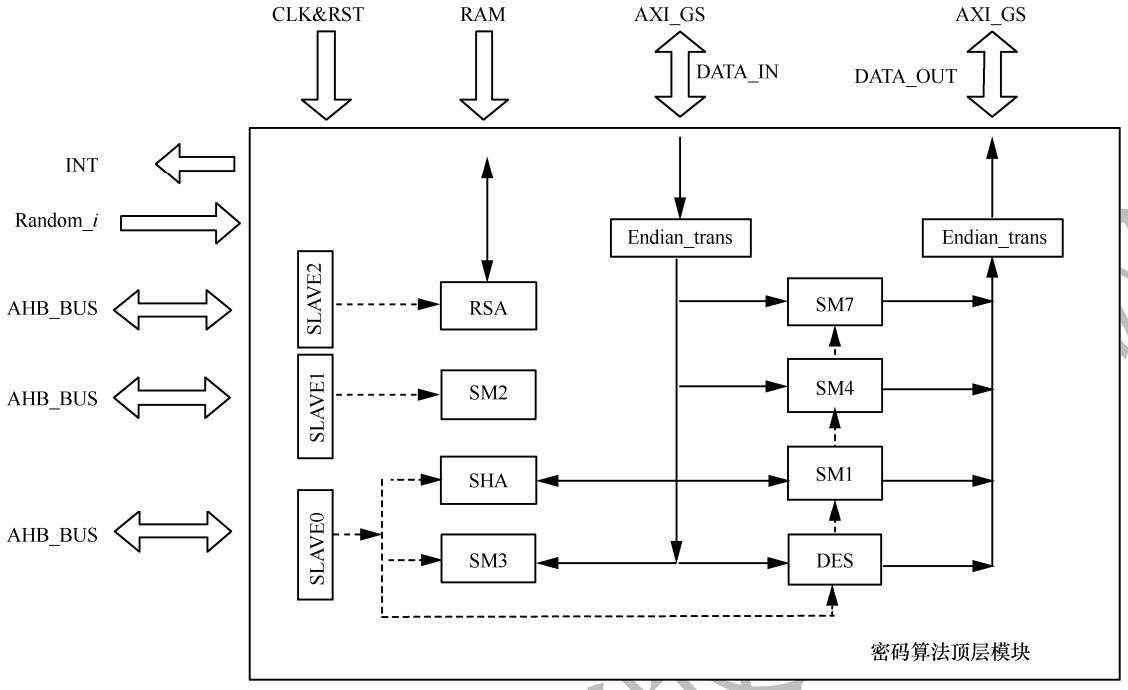


图 3　密码算法电路整体结构

算法。如图 3 中的算法顶层模块，本芯片内部所有算法子模块都包含于算法顶层模块内部，算法顶层与 AXI 总线和 AHB 总线进行连接。CPU 通过 AHB 总线对算法内部特殊功能寄存器进行配置，待加密数据和完成加密的数据通过 AXI 总线进行传输。为保证算法的高吞吐率要求，CPU 可调度多个算法同时进行数据加解密处理。例如，对于 DES 算法，芯片内部配置了多个 DES 算法单元，通过内部寻址空间的分配，CPU 可以调度多个 DES 算法同时进行运算，这样就可以进一步提升数据吞吐量。同时，根据不同算法的硬件设计和功能需求，各算法模块性能不同，最高运算频率也不同，这与内部算法的具体实现有关。在整体架构上，所有算法都统一挂载在 AXI 总线和 AHB 总线上，通过总线传输数据和对算法进行配置。为保证总线数据的正常传输和连续性，内部算法模块都集成了异步 FIFO 作为缓冲区，这样既保证了总线数据的连续传输，也保证了各算法模块可以不受系统时钟限制而工作在更高的频率。

3.2　抗故障攻击设计

为了抵御对密码算法模块的攻击，密码算法模块的安全设计包含抗侧信道攻击和抗故障攻击的防护方案。其中，针对侧信道攻击的防护设计已在参考文献[7-10]中进行过详细介绍，这里侧重具体介绍本芯片中密码算法的抗故障防护设计。常见的防故障攻击方法是对同一数据进行多次运算，比较多次运算的结果是否一致。而这种方法存在明显的缺陷，如果在结果比较时再次注入故障，则攻击者有可能收到有用的故障信息，继而获取关键敏感信息。本设计中采用的抗故障设计可以有效抵御这种多点故障攻击。以 DES 算法为例，如图 4 所示，首先将明文 P 输入 DES 算法模块中，进行第一次正常加密运算，此时输出正确加密结果 C；同一明文 P 再次输入加密模块中，进行第二次正常加密运算，如果该过程被注入故障，则输出的是错误加密结果 C'；将以上两次加密结果 C 和 C'输入比较函数 F 函数，该函数的输出为 Y；F 函数通过判定得知，$C\neq C'$，故输出运算结果为攻击者无法利用的无效结果；对于不同的分组算法，F 函数的表达式不同。以 DES 算法为例，加密结果 C 由 L 和 R 两部分组成，加密结果 C'由 L'和 R'两部分组成，即 $C=L||R$，$C'=L'||R'$，则 F 函数可以定义为：

$$F(C,C')=C'\oplus L\oplus L'\oplus R\oplus R' \qquad (1)$$

通过 F 函数的运算处理，当正常运算过程中被注入故障时，上述 F 函数输出的运算结果为攻击者无法利用的无效结果。以上防护设计减少了将两次正常加密运算结果进行比较的步骤，最后由 F 函数输出攻击者无法利用的无效结果，有效地抵抗了对分组密码算法的双点攻击，提高了分组密码算法加密过程的安全性。

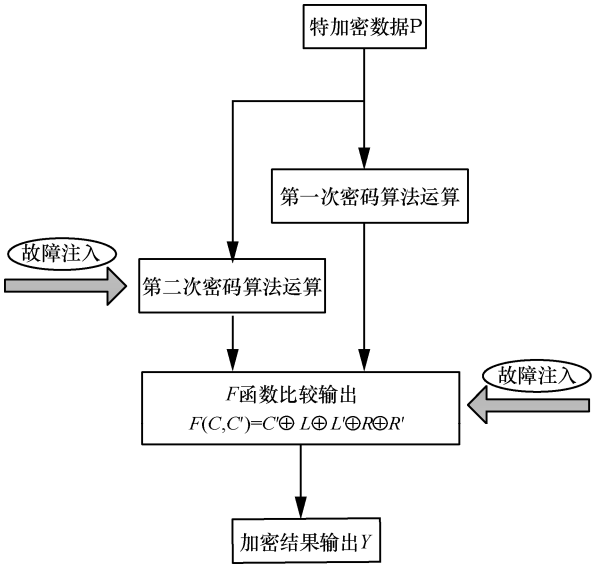


图 4　DES 算法抗故障攻击设计

4　芯片版图及测试结果

本文设计的高速芯片经过后端版图设计，在半导体工艺厂 UMC 55 nm 工艺下进行了流片制造。芯片版图如图 5 所示。主要算法模块测试性能见表 1。经过流片后芯片已完成 FPGA 系统级测试，根据对算法模块的数据处理吞吐率统计，分组算法模块最高吞吐率可以达到 3 Gbit/s。

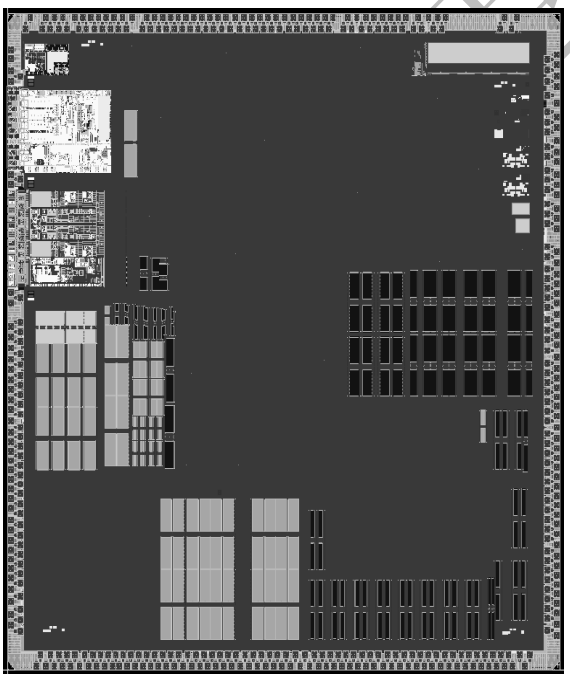


图 5　高速芯片版图

表 1　主要算法模块测试性能

安全算法	算法性能
SM1	2 Gbit/s
SM4	1 Gbit/s
SM7	1 Gbit/s
DES	3 Gbit/s
SM3	3 Gbit/s
SM2	签名：67 000 次/s
	验签：25 000 次/s
	密钥生成：70 000 次/s

5　结束语

基于电力系统高速安全加密需求，本文提出了一种基于 PCIe 的高速高性能 SOC 架构，并完成了芯片的设计。芯片内部集成多种算法单元，能够为各类安全平台提供多线程、多进程和多卡并行处理的高速密码运算服务，满足海量并发数据以及数字签名/验签、对称/非对称加解密、数据完整性校验、密钥生成和管理等功能的要求。此外，本文还研究了芯片级安全机制和针对算法电路的抗故障攻击设计。经过工艺厂流片和芯片功能测试，数据处理吞吐量最高可达 3 Gbit/s，性能达到预期目标。

参考文献：

[1] 曾荣. 基于 FPGA 的高速并行加密卡的设计[C]//2010 年电力行业信息化年会, 2010 年 7 月 29—31 日, 长沙, 中国. 北京: 人民邮电出版社, 2010: 372-373.

[2] 彭帅. 基于安全 ASIC 密码芯片 PCIe 加密卡系统的设计与实现[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2017.

[3] 彭阳, 孟李林, 李年. 基于 FPGA 的高速加密卡设计与实现[J]. 电子科技, 2013, 26(6): 42-45.

[4] 林晓牧. 基于 AXI 接口的多模式 AES 加解密 IP 核设计与实现[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.

[5] 刘学光, 李树国. 一种基于 PCIe 的 FPGA 密码芯片验证测试系统[J]. 微电子学与计算机, 2014, 31(11): 79-87

[6] 孙晓晔. 基于 PCIe 的 SG DMA 高速数据传输系统[J]. 计算机技术与发展,2013, 23(9): 195-198.

[7] 张海峰, 于艳艳. 分组密码算法抗功耗攻击和故障攻击的方法[J]. 电子技术应用, 2015(41): 50-52.

[8] 王安, 于艳艳, 陈曼. 对一种纵向重用型 AES 掩码的能量分析攻击[J]. 密码学报, 2014, 1(1).

[9] 于艳艳, 胡晓波, 李娜. 一种 SM4 算法抗能量攻击的掩码方法及装置: 201310552684.1[P]. 2017-12-05.

[10] 于艳艳, 李娜, 赵东艳. 一种分组加密算法防攻击的掩码方法和装置: 201510149151.8 [P]. 2016-11-23.

书出版社出版

一种基于分布式结构的用电信息采集方法

王祥，谢晶晶，林大朋，毛珊珊，武占侠，洪海敏
（深圳市国电科技通信有限公司，广东 深圳 518000）

摘　要：低压电力线高速载波通信技术的推广应用为低压台区分相线损的计算提供了有利渠道。而现行用电信息采集系统中的实时电能数据采集时间不同步，时钟异常的电能表冻结数据不准确等问题会影响分相线损计算结果。利用电力线高速载波通信技术实时性高的特点，本文提出一种基于分布式结构的用电信息采集方法，实现电能表同步数据采集，并可实现分钟曲线数据采集，进而实现分钟分相线损管理。

关键词：分布式结构；用电信息采集方法；分相线损；STA

1　引言

线损是表征供电企业电力系统规划设计水平和经营管理水平的一个综合经济技术指标。随着低压电力线高速载波通信技术的推广应用，国家电网公司大力推广分相线损管理功能。分相线损需要集中器可同时（或者在非常短的时间内）获取整个台区所有电能表的相位信息以及电能数据，通过各相位电能数据及总表数据来计算。电力线高速载波通信技术，可以通过过零检测技术获取各节点（电能表）的相位信息，因此，实现分相线损管理的关键在于电能数据的正确收集。

由于现行的用电信息采集系统存在以下两个问题：使用现有本地通信协议抄表方式，随着台区规模的增大，电能数据采集时间从几分钟至几小时不等，使用基于电力线高速载波通信技术扩展的并发抄表功能，目前采集可实现小时曲线数据的采集或尝试 15 min 曲线数据的采集，且电能表之间数据采集时间亦非同时采集；现场运行的电能表存在电能表计量功能正常，但时钟异常的情况，该类电能表虽可正常计量使用，但电能表中存储的冻结数据并非正确时间的冻结结果，若使用此类数据进行分相线损计算，将会影响其计算结果的正确性。

2　用电信息采集系统

用电信息采集系统是对电力用户的用电信息进行采集、处理和实时监控的系统，实现用电信息的自动采集、计量异常监测、电能质量监测、用电分析和管理、分布式能源监控等功能。

2.1　用电信息采集系统结构

用电信息采集系统由主站、通信信道、采集终端和电能表组成，典型结构如图 1 所示。

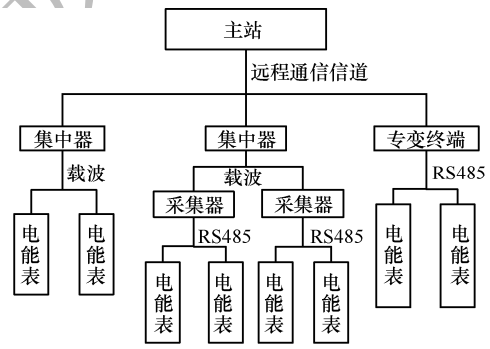


图 1　用电信息采集系统组成结构

采集系统主站主要由前置服务器、数据库服务器和应用服务器等相关的网络设备组成。

通信信道是指系统主站与终端之间的远程通信信道，主要包括 GPRS 无线公网信道、光纤信道和 230 MHz 无线电力专用信道等。

采集终端是指对各信息采集点用电信息采集的设备，按主要包括专变采集终端、集中抄表终端（包括集中器、采集器）等。

2.2　现有用电信息采集方法

在现有用电信息采集系统中，集中器按照本地通信模块接口协议中的抄表方式，采集台区内所有电能表的电能数据。具体方法如下。

（1）路由主动抄表方式

该方式由 CCO（Central Coding Office）主动请求

抄读内容，集中器下发数据抄读任务，一次抄读一块电能表的一个数据项，抄完一块电能表后再抄读下一块电能表，直至所有电能表的所有数据项抄读完。

（2）集中器主动抄表方式

该方式由集中器下发数据抄读任务，一次抄读一块电能表的一个数据项，抄完一块电能表后再抄读下一块电能表，直至所有电能表的所有数据项抄读完。

（3）基于电力线高速载波通信技术扩展的并发抄表

该方式中集中器可并发抄读多块电能表的多个数据项。

假设所有电能表均能抄读成功，需要采集电能表的数量为 N，每块电能表采集的数据项个数为 M。

路由主动抄表方式和集中器主动抄表方式抄读第 N 块电能表的第一个数据项与第一块电能表的第一个数据项的时间相差为 $M\times(N-1)\times S_1$，S_1 为一次抄读时间。以典型台区电能表数量 300 块，每个电能表采集 4 个数据项，一次抄读时间为 1 s 计算，采集时间差为 1 196 s，即约 20 min。随着台区电能表数量和采集数据项的增加，采集时间差将增大。

并发数为 5，多帧数为 3，计算并发抄表方式采集所有数据需要的时间为 $\left\lceil\frac{N}{5}\right\rceil\times\left(\left\lfloor\frac{M-1}{3}\right\rfloor+1\right)\times S_2$，$S_2$ 为一次抄读时间。以典型台区电能表数量 300 块，每个电能表采集 4 个数据项，一次抄读时间为 2 s 计算，采集时间差为 240 s，即 4 min。

并发抄表提升了采集效率，将采集时间缩短至 5 min 内，但采集时间仍存在一定误差，并且无法实现分钟曲线采集。

3 基于分布式结构的用电信息采集方法

分布式结构将系统的应用层、数据层或其他部分架构成分布状，使系统内各部分彼此相互独立。它建立在网络之上，并通过网络进行数据交换。利用分布式结构，将集中器的抄表任务分布到各 STA 上，并对 STA 进行时钟同步，由 STA 定时采集电能表数据并存储，从而解决现有用电信息采集系统中电能表数据采集不同步问题。

基于分布式结构的用电信息采集方法是，集中器将需要采集的数据项和采集密度预先下发给 CCO，CCO 记录相关信息并将采集数据项和采集密度通过广播下发给 STA。由 STA 按照时钟定时进行电能表数据采集，并存储在 STA 中，存储 1 天 1 440 点电表曲线数据，同时 STA 根据上报周期定时将存储的电表曲线数据上报给 CCO。CCO 缓存台区内所有电能表 1 h 内的电表曲线数据。集中器可读取 CCO 中的电表曲线数据，也可读取 STA 中的电表曲线数据。具体流程为：

（1）CCO 上电后主动获取集中器时钟，STA 上电后主动获取电能表地址信息（列表）；

（2）CCO 与网络中所有 STA 时钟同步；

（3）集中器下发带采集密度的采集数据项，CCO 记录相关信息，并下发给 STA，STA 更新采集密度和采集数据项；

（4）STA 周期采集任务时间到时，按照采集数据项配置抄读电能表数据并存储；

（5）STA 上报周期到时，将本上报周期内的曲线数据上报给 CCO；

（6）集中器读取 CCO 内电表曲线数据，CCO 应答相应电表曲线数据；

（7）集中器发起读取 STA 内电表曲线数据命令，CCO 透传至 STA，STA 将相应电表曲线数据应答给 CCO，CCO 上报给集中器。

CCO 基于分布式结构的采集方法处理流程如图 2 所示，STA 基于分布式结构的采集方法处理流程如图 3 所示。

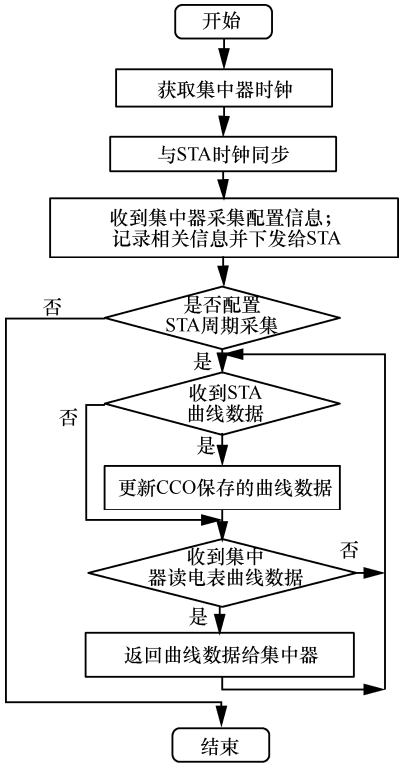


图 2　CCO 基于分布式结构的采集方法处理流程

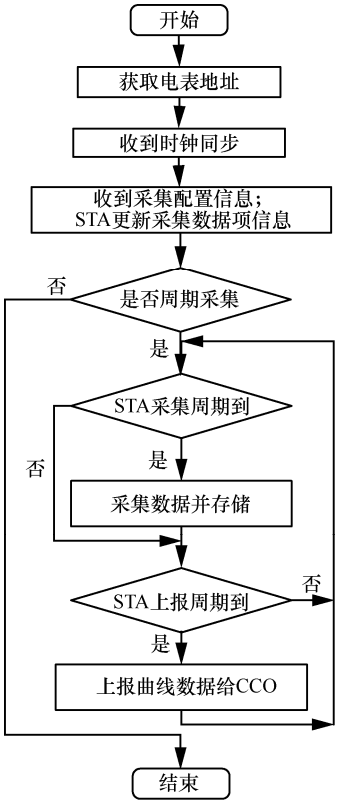


图 3　STA 基于分布式结构的采集方法处理流程

基于分布式结构的用电信息采集方法将采集任务分布在各 STA，同时所有电能表的曲线数据汇总在 CCO 内，集中器只需定时读取 CCO 中所有电能表的曲线数据即可获取到台区内所有电能表的电能数据。将采集密度配置为 1 min，可实现所有电能表的分钟曲线数据采集，集中器按分钟密度采集总表电能数据，即可实现分钟线损管理。

4　实验结果

在实验室搭建 300 块电表全载环境，使用模拟集中器软件进行路由主动抄表方式、集中器主动抄表方式、并发抄表方式及分布式抄表方式测试。

在实验室环境下，抄表成功率均达到 100%。电表模块基本为一级网络节点，路由主动抄表方式、集中器主动抄表方式和并发抄表方式的平均抄表时间均小于 0.5 s。分布式抄表耗时 39.2 s，为模拟集中器从 CCO 读取 300 块表的数据所用时间。

在现场试点应用环境（300 块电表全载环境），进行集中器路由主动抄表方式、集中器主动抄表方式、并发抄表方式及分布式抄表方式测试，测试结果见表 1。

表 1　集中器路由测试结果

抄表方式	抄表成功率	每个数据项平均抄表时间/ms	抄读 4 个数据项抄表耗时/s
路由主动抄表	100%	648	777.6
集中器主动抄表	100%	506	607.2
并发抄表	100%	203	243.6
分布式抄表	100%	—	43.3

在现场试点应用环境下，抄表成功率均为 100%。因现场环境中网络拓扑为 3 级，路由主动抄表方式、集中器主动抄表方式和并发抄表方式的抄表耗时均有所增加，分布式抄表方式耗时基本保持不变。

5　结束语

基于分布式结构的用电信息采集方法将集中器的数据采集任务分布到各 STA，由 STA 定时采集电能表曲线数据，为分相线损计算提供准确数据。低压电力线高速载波通信技术的推广应用，为分布式结构的用电信息采集方法的实现提供基础。实验验证了基于分布式结构的用电信息采集方法可以实现典型台区所有电能表的分钟曲线采集。

参考文献：

[1] 国家电网公司. Q/GDW13762-2013,电力用户用电信息采集系统通信协议 第 2 部分: 集中器本地通信模块接口协议[R]. 北京: 国家电网公司, 2013.
[2] 特尼博姆. 分布式系统原理与范型: 第 2 版[M]. 辛春生, 译. 北京: 清华大学出版社, 2008.
[3] 张敏. 基于用电信息采集系统的台区线损管理研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
[4] 刘海峰, 路宗歧. 用电信息采集系统深化应用研究[J].供用电, 2012, 29(6): 40-42.
[5] 妙红英, 高寅, 王松, 等. 宽带电力线载波通信技术在用电信息采集系统中的应用[J]. 华北电力技术, 2015(4): 16-19.
[6] 陈慧, 夏桃芳, 詹世安. 基于用电信息采集系统的分相线损计算[J]. 电力需求侧管理, 2017, 19(1): 53-57.

人民邮电出版社出版

一种基于企业微信号的轻量化企业级移动应用架构与实现

胡霖远，姚全兵，闪烁，张松
（中国广核电力股份有限公司，广东 深圳 518031）

摘　要：随着移动通信及工具的发展，移动办公在现代企业中具有越来越重要的地位，分析了主流的移动解决方案，并选取了目前基于微信的微信企业号构架作为研究重点。在对微信企业号构架的介绍中，结合具体的微信企业号应用开发过程，着重介绍了微信企业号部署框架和通信调用原理，并在代码层面归纳和总结了在具体微信企业号应用开发过程中的经验。具体应用中使用了微信 H5 页面作为前端，与部署在 DMZ 的微信企业号服务器进行交互，通过 DMZ 微信企业号的服务器调用企业的后台 ESB 接口，ESB 再调用部署于内网的应用服务器，后台服务器再与持久化数据库进行交互。微信企业号应用在开发过程中使用了 HTML5、Java、PHP 等主流的开发语言，结合主流持久化数据库 MySQL 和 NoSQL 技术中的 Redis 服务器，并在业务处理过程中使用了自然语言处理人工智能技术，移动应用的部署和使用提高了具体工作的便捷性，达到了移动应用建设的目的。

关键词：微信企业号；HTML5；数据库；Java 框架；NoSQL

1　引言

移动应用的建设是企业信息化建设的重点之一，其中涉及移动架构的选型、移动应用的建设、移动访问性能优化等方面。下面将通过对架构总体的介绍，并按从后台持久化数据库到后台服务器、ESB 于 DMZ 部署接口、微信服务器中转、前端与微信 DMZ 服务器交互的逻辑介绍基于微信企业号构架的微信企业号应用建设过程，并对每个阶段的技术原理和建设经验进行分析和总结。

2　移动框架选型：前端与后端

2.1　前端

目前主流的移动前端主要有三大类：一是纯原生 App 开发方式，这种开发方式性能最优但是目前主流移动平台种类较多，对于同一个应用往往需要针对不同的操作系统多次开发，增加工作量；同时，分散的 App 不利于集中管控；大量的应用 App 也造成了用户对于安装和使用的体验下降。二是纯 H5 前端页面的方式，这种方式兼容性最好，但是其性能较差。浏览器 H5 应用几乎可以运行于任何可以浏览网页的设备上，而且每次访问都请求服务器提供最新的页面，其拥有最好的兼容性和最小的不同系统开发投入，但受限于浏览器兼容性的考虑，其性能较为孱弱，较大型的移动应用可能会出现卡顿影响用户体验；三是原生 App 和 H5 页面混合的方式，其中 H5 页面使用 WebView 进行浏览，这种方式结合了前两种移动前端的优点，具有不弱于原生 App 的性能，对于其内部业务也基本可以做到一次更新、多端同步。故在选型时选择了原生 App+内部集成 H5 页面的方式。

2.2　后端

移动框架的后端本质上与 PC 业务系统的后端无异。对于已具有 PC 业务的系统，要将其改造成支持移动应用功能的系统，不需要重新建设，可以进行部分改造，使其业务系统开放接口。在移动应用建设过程中，与后台的交互情景可以直接调用其开放的接口。对于没有 PC 业务的系统，也可以采用流行的后台技术，建设一套后台。在建设后台过程中，不必刻意去考虑该系统是面向 PC 还是移动应用，已具有 PC 端开发经验的企业和人员可以快速投入移动应用的建设中。

综上，本文介绍的移动框架如图 1 所示。

3　应用建设

3.1　数据持久化

3.1.1　数据库技术

对于数据持久化，目前一般采用的都是数据库技术，关系型数据库是较为流行的数据库技术。在本示例系统中使用了 MySQL 5.7 关系型数据库，MySQL

人民邮电出版社出版

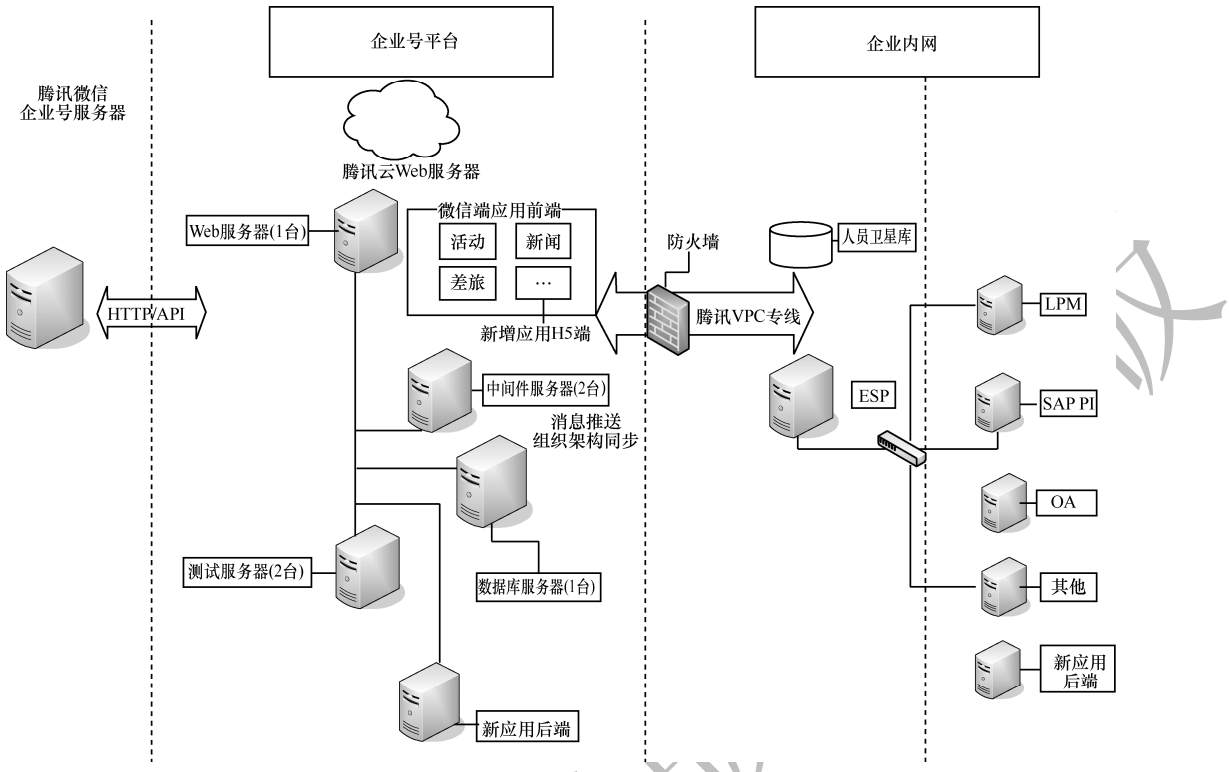


图 1　系统架构

相比于 SQL Server 在对单表进行操作时由于其并不锁定整张表，具有更优的性能。且 MySQL 社区版本开源免费，减少了建设成本。

基于容灾考虑，MySQL 运行所处的服务器与业务服务器并不在同一台“物理”服务器上，运行中 MySQL 开放服务端口，支持远程访问数据库。业务服务器在运行过程中远程调用 MySQL 数据库，进行 CURD 操作。

3.1.2　NoSQL 技术

NoSQL 和 RDBMS 最核心的差别在于 NoSQL 摒弃了 RDBMS 中繁杂的范式规则，采用无模式的方式对数据进行建模。NoSQL 技术严格来讲并不属于持久化技术，其使用内存作为其持久化数据的物理介质[1]。计算机内存为断电易失性存储设备，故使用内存作为存储设备是不安全的，考虑内存数据的易失性，NoSQL 技术一般也不像关系型数据库那样具有较为复杂的业务结构，结构简单多为键值对存储方式。但是，目前主流的 DDR 内存相比于机械硬盘和 SSD 存储方式具有上百倍的性能优势，使用 NoSQL 技术作为业务服务器访问数据库过程中的加速缓存能成倍提高业务系统的响应时间。

关于数据库访问使用缓存加速，可以参考较为广泛的共识，即业务系统对数据库的操作大部分都是查询，较少进行增加、删除、更新操作。使用缓存作为业务访问数据库的中间层能提高系统性能。

基于以上分析，该移动应用在业务服务器与持久化数据库之间使用了 NoSQL 技术的 Redis。关于 Redis 的部署和与业务系统的集成，由于篇幅所限，在此不做展开。测试结果比较如图 2 和图 3 所示，测试环境为 CPU i5 6300U 8 GB DDR3 内存。结果显示，本地数据库访问平均时间为 24.9 ms，使用 Redis 技术之后平均访问时间为 13.33 ms。远程数据库访问平均时间为 70.16 ms，使用 Redis 技术之后平均访问时间为 16.29 ms。

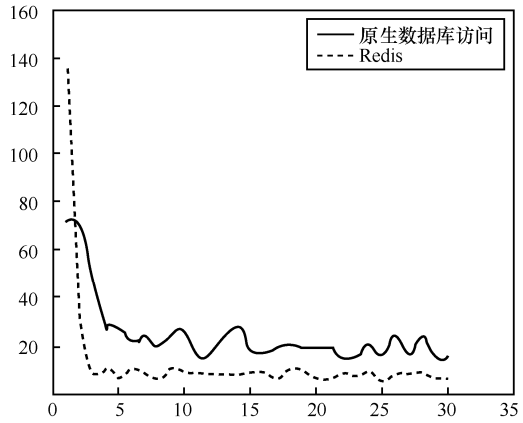


图 2　原生数据库和 Redis 测试结果比较

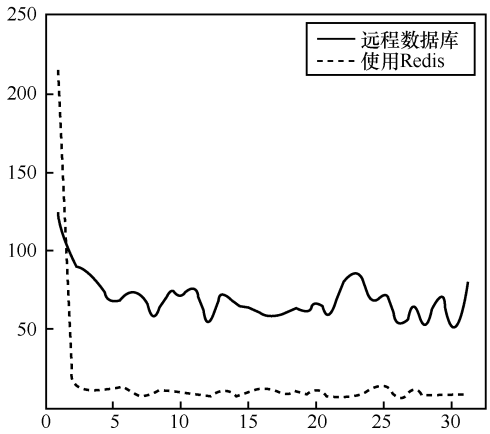


图 3　远程数据库和 Redis 测试结果比较

通过以上数据可以发现，NoSQL 技术对访问时间的加速是显而易见的，在网络延迟较大的情况下，作用更为明显。

3.1.3　业务服务器

业务服务器一般按照企业既有的后台业务系统框架标准建设。对于没有后台框架建设标准的企业，可以考虑目前较为流行的开源后台开发框架，对于 Java 语言主要有 SSM 和 SSH 框架。该系统的建设考虑到泛用性的要求，采用了目前较为流行的 SSM 框架。

该框架 Controller 层使用了 Spring MVC 响应前端访问。对于不同的访问情况，统一使用 Dispatcher 作为中转分发，并支持配置不同的放回方式，例如，以 ModelAndView 方式返回或者 JSON 方式返回等。

在业务系统 POJO 与数据库交互过程中使用了 MyBatis 技术，MyBatis 与 Hibernate 等技术同属于对 JDBC 访问数据库方式的封装。相较于 Hibernate 完全封装的方式，MyBatis 在访问数据库过程中，构件 SQL 查询可以支持手动修改 SQL 语句，有利于提高查询效率，提升系统性能。

业务系统使用了 Spring 统一管理业务操作，其基于 AOP 和 IOC 的理念对于业务系统纵向层与层之间的解耦具有重要意义。

3.1.4　ESB

随着信息时代的到来，企业纷纷使用信息系统来管理业务，为企业创造更多的利润。而信息化起步之时，各部门各自为战，为自己部门建立信息系统。时间一长，企业内部形成了一个个竖井式的系统，它们之间互相独立、没有联系。而 SOA 架构可以有效地把这些信息孤岛连在一起，从而把系统都整合起来。而 ESB 在其中担当连接器的重任，并协调各系统的数据交互合作，是 SOA 的关键所在。其集中部署、集中监控的设计思想对于业务量较少、系统较多的企业较为适用[2]。但是其集中部署往往导致了复数系统与其紧耦合，所以对其可靠性要求较高。

该系统在建设过程中接口发布于 ESB，前端服务器通过访问 ESB 接口中转到业务系统，在这一过程中，ESB 起到了监控和代理的作用。在用户身份认证过程中，用户身份认证系统接口也发布于 ESB，业务系统仅需要向 ESB 提交数据就可以获取登录用户的信息。对于业务系统，ESB 可以通过注册的接口监控到其服务是否正常，对于失效的接口，能发出警告。对于前端访问，ESB 可以记录访问情况，调用开始与结束时间，方便分析性能情况。

总的来说 ESB 在系统数据通信中是透明的，业务服务器并不知道 ESB 的存在，客户端访问也并不需要知道是不是直接访问了业务服务器。这对于信息集中管控、数据集成很有帮助。但是其集中管理的思想导致了紧耦合，系统容灾能力下降。这与目前微服务、分散部署的思想完全相反。至于具体要选择何种数据架构，还需要企业根据自身情况具体分析。

3.1.5　前端服务器

前端服务器部署于公网服务器上，其公网地址在内网 DMZ 被注册，允许以其地址访问内网。同时作为公网服务器，它也可以被微信服务器访问，微信企业号应用的前端页面文件就放置于该服务器，其部署后微信服务器会读取这些前端文件，并在微信及微信企业号中被调用。

3.1.6　应用部署

对于微信企业号上的应用，部署过程仅需要将开发的前端 H5 文件放入指定位置，并在微信企业号管理端录入服务地址就可以正常部署。

3.1.7　数据通信

目前 H5 页面广泛使用 Ajax 技术与后台交互，使用这种方式与后台通信存在一个问题，那就是 Ajax 在微信端载入页面之后才开始访问后台，而这时 H5 页面不是在中转服务器上运行。很显然，该 Ajax 访问不会成功，因为公网不能直接访问内网 DMZ 的访问接口。对于这种情况，需要在前端服务器上架设一个中转服务器，中转内外网通信数据，如图 4 所示。

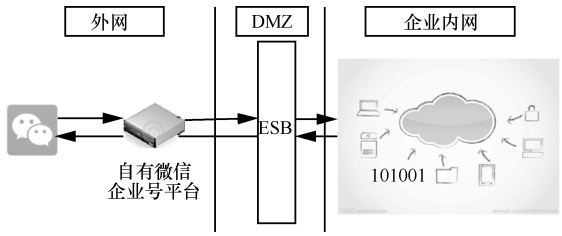


图 4　前后端通信架构

3.1.8　前端业务设计

基于前端页面采用 HTML5+JQuery+CSS3 设计，相比于传统的 JSP、ASP 页面，其与后端的耦合更低，后端服务器的变更在前端仅仅表现为更改一个访问地址。对于传统业务系统中所涉及的登录和身份认证的问题，本系统使用了 HTML5 新特性之一的 sessionStorage 来存储登录身份标志。使用该种方式，登录情况不再是在业务系统中记录，而是在前端页面记录登录情况。很显然该种登录方式存在登录情况伪造的问题。但是，微信企业号的封装很好地阻止了外部攻击者对于网页源代码的分析，保证了数据的安全性。

4　性能优化

移动应用对于系统的访问时间较为敏感。目前，公认的应用操作反馈时间要控制在 1 s 之内，这种标准对于小企业微应用是较好实现的。但是，对于大中型企业，其数据规模往往是庞大的，其业务逻辑往往比小微企业更为复杂。该系统建设过程中主要对几个节点进行了优化，分别是数据库内部操作、业务服务器到数据库、业务逻辑分散处理、前端页面操作反馈优化几个方面。

4.1　数据库内部操作

对于数据库内部操作，数据库事务隔离级别一般有 Read Uncommitted：幻读（事务 1 读取记录时事务 2 增加了记录并提交，事务 1 再次读取时可以看到事务 2 新增的记录）、不可重复读（事务 1 读取记录时，事务 2 更新了记录并提交，事务 1 再次读取时可以看到事务 2 修改后的记录）和脏读（事务 1 更新了记录，但没有提交，事务 2 读取了更新后的行，然后事务 1 回滚，现在事务 2 读取无效）均允许；Read Committed：允许幻读和不可重复读，但不允许脏读；Repeatable Read：允许幻读，但不允许不可重复读和脏读；Serializable：幻读、不可重复读和脏读都不允许。从最低级的隔离级别到最高级的隔离级别，数据库操作一致性逐渐增加，但是其性能会显著降低。移动应用常常面对高并发访问的情况，显然采用序列化事务隔离级别是不可取的。但是，使用其他级别的隔离方式可能会出现业务逻辑错误，为此，需要在业务逻辑设计时进行相关的规避。

对于复杂且数据安全要求比较高的的系统，建议使用 Serializable 级别的隔离，同时配合内存数据库 NoSQL 使用。对于高并发的场景，可以先使用 NoSQL 数据库进行缓冲，达到某些条件后再顺序调用 NoSQL 数据写入数据库。由于 NoSQL 写入是原子性的，可以避免并发问题。综上，本系统使用了图 5 所示的隔离级别。

```
@Transactional(isolation=Isolation.READ_COMMITTED, propagation = Propagation.REQUIRED)
```

图 5　隔离级别代码

4.2　业务服务器到数据库

对于业务服务器到数据库，使用了 NoSQL 技术，业务系统对数据库的查询操作首先应查询 Redis 是否有此条目，没有命中才会查询数据库。这种方式对于高热点数据访问具有较好的加速性能。

4.3　业务逻辑优化

对于业务逻辑的处理，可以充分利用网络系统分布式应用的特性，比如相关的逻辑计算可以先在微信客户端完成，对于服务器的交互只需要反馈结果就可以，减小服务器压力。

4.4　前端页面优化

前端的页面操作一般是操作 H5 页面，而操作 H5 页面中最具有优化潜力的是点击操作。2007 年初，苹果公司在发布首款 iPhone 前夕，遇到一个问题——当时的网站都是为大屏幕设备所设计的。于是苹果的工程师们做了一些约定，应对 iPhone 这种小屏幕浏览桌面端站点的问题。这当中最出名的当属双击缩放（double tap to zoom）。这也是会有上述 300 ms 延迟的主要原因。当用户一次点击屏幕之后，浏览器并不能立刻判断用户是要进行双击缩放，还是想要进行单击操作。因此，iOS Safari 就等待 300 ms，以判断用户是否再次点击了屏幕。于是，300 ms 延迟就这么诞生了。H5 页面中自带的点击事件“onclick”会出现 300 ms 左右的操作延迟，这种延迟在 PC 端上表现可能不是很明显，但是对于移动应用往往非常明显。所以对于点击操作要引入 tap 事件或者其他封装的点击事件代替原生的 onclick 事件，减少点击延迟。其代码如图 6 所示。

```
var RankPage = document.getElementById("RankPage");
RankPage.addEventListener('tap',function(event){
```

图 6　对按钮添加 tap 事件

5　结束语

本文通过介绍笔者所在企业移动建设的情况，并结合具体应用建设过程中的各个阶段的处理方法，较为全面地介绍了企业微信移动框架在企业移动建设过程中的具体实践，也对一直以来的应用建设情况进行了回顾和总结。

企业信息化建设是提升企业办公效率、降低企业运行成本的有效途径。推进信息化建设也符合时代云计算、大数据、移动互联、人工智能的主题。众多企业在推进自身信息化建设过程中，由于自身情况的不同，肯定会遇到各种各样的问题，所以必须要立足自身实际情况，结合信息技术发展，勇于实践，开拓创新。

参考文献：

[1] 王海波. 云计算中数据库的关键问题研究与实现[D]. 长春: 吉林大学, 2011.

[2] 牛刚. 轻量级 ESB 研究与设计[D]. 上海: 上海交通大学, 2011.

人民邮电出版社出版

一种基于数字证书的 UKey 身份认证系统实现

张彦荣，杨峰，袁艳芳
（北京智芯微电子科技有限公司，北京 100192）

摘　要：“国分省一体化运行管理平台”的原有身份认证系统采用传统的口令认证方式。为提升系统安全等级，一种基于数字证书的 UKey 身份认证系统解决方案被提出并应用。该方案综合数字证书、UKey 和口令，实现了客户端和服务端的双向安全身份认证。实践证明，该解决方案更大限度地保证了用户身份认证的合法性，并有效地提升了系统安全等级。

关键词：UKey；身份认证；数字证书；签名；口令

1　引言

随着互联网的迅猛发展，用户登录身份认证的安全问题越来越受到重视，用户在访问安全系统之前，首先经过身份认证系统识别身份，然后访问监控模块，系统根据用户身份和授权情况决定用户是否能够访问某个资源。系统安全登录与身份认证是安全系统中的第一道关卡，也是实施访问控制的基础，在系统安全领域具有十分重要的作用。

本文针对“国分省一体化运行管理平台”用户身份认证系统提出了一种基于数字证书的 UKey 身份认证方案，采用 UKey 设备与用户口令相结合的双因子认证方式，有效地保证每个用户在登录系统中身份的唯一性和合法性，该认证方式能最大限度地保证系统和文件的安全。

2　传统身份认证方法

传统的基于口令的身份认证方式是目前互联网领域中最简单、最容易实现的一种身份认证技术，也是目前应用最广泛的用户登录身份认证方法。“国分省一体化运行管理平台”未进行系统安全升级前，采用的就是基于口令的传统身份认证方式。

用户名+口令的二元认证方式已被证明存在众多问题，密码易于共享。密码简单，破解密码的难度较低，若密码复杂，又会产生难以记忆的问题。

将数字证书集成到 UKey 设备中来实现身份认证，数字证书的有效的安全机制将会使智能卡与外界通信的安全等级得到极大提高。

3　基于 UKey 的身份认证应用

3.1　数字证书

数字证书是一个经证书授权中心签发的包含用户身份信息以及公开密钥的文件。最简单的数字证书包含一个公开密钥、名称以及证书授权中心的数字签名。数字证书还有一个重要特征就是只在特定的时间段内有效。

数字证书采用非对称密码体制，本文中采用国家密码局发布的 SM2 密码算法。以数字证书为核心的加密技术可以对网络上传输的信息进行加密和解密、数字签名和签名验证，从而确保传输信息的机密性、完整性和不可抵赖性。

目前，数字证书已广泛应用于电子商务和电子政务领域的网上安全电子事务处理及安全电子交易活动。

3.2　UKey 的应用

UKey 是集智能卡与读卡器于一体的 USB 设备，又名智能电子密码钥匙，支持热插拔和即插即用。

利用 UKey 提供的安全机制，将数字证书存储在 UKey 中，以实现用户登录及身份认证。UKey 本身作为密钥存储器，自身硬件结构决定了用户只能通过厂商编程接口访问数据，这就保证了保存在 UKey 中的数字证书无法被复制。

UKey 设备体积小、重量轻，便于携带。用户只需要保护好设备的使用安全，就可以达到安全的目的。

3.3　系统认证流程

“国分省一体化运行管理平台”是 B/S 架构的综合管理平台，客户端为浏览器，服务端为 Tomcat 服务器。系统原有身份认证方式为口令认证，为提升系统的安

人民邮电出版社出版

全等级，将数字证书集成到 UKey 设备中，以实现系统的安全身份认证。

3.3.1 升级内容

- 登录界面中嵌入证书控件，将登录界面修改为 UKey+用户名/口令的登录形式；
- 登录提交按钮中加入证书控件的调用脚本功能；
- 服务器端程序增加对客户端提交的认证信息进行正确性校验的功能；
- 后台程序增加解析证书得到用户名并与后台库中用户名比对的功能。

3.3.2 认证步骤

- 打开浏览器，插入 UKey；
- 浏览器自动获取证书，完成验证过程，如失败，则登录界面提示失败；
- 浏览器自动获取 UKey 中的用户名，通过界面输入用户口令，点击登录，触发 UKey，生成签名，并将用户证书和签名发送给服务端；
- 服务端完成验证过程，如失败，则登录失败。

3.3.3 认证示意

管理平台登录环节示意图如图 1 所示。

3.3.4 具体流程

（1）客户端

- 解析 UKey 中的数字证书，实现对数字证书时间有效性的校验，时间以客户端时间为准；
- 接收服务端的数字证书和随机数签名信息，并实现对签名的验证；
- 客户端产生随机数，并实现私钥签名，并将公钥证书、随机数和签名信息发送给服务端组件。

（2）服务端

- 服务端组件接收到“国分省一体化运行管理平台”的身份认证请求后，产生随机数，用自己的设备证书对应的私钥进行签名，并将设备证书、随机数和签名信息打包发送给客户端组件；
- 接收客户端组件发送的数据，验证客户端的随机数签名；
- 验证成功后，解析客户端的公钥证书，获得该用户的唯一标识信息（用户名），并通过数据接口发送给“国分省一体化运行管理平台”；
- “国分省一体化运行管理平台”查询、核验该用户信息，查询验证成功，批准用户的登录认证请求。

3.4 认证方法的优势比较

本文提出的将数字证书集成到 UKey 设备中实现身份认证的方法，与原有的口令认证方法相比，具有以下优势：

- 该认证方式是一种包含 PIN 和智能卡技术的双

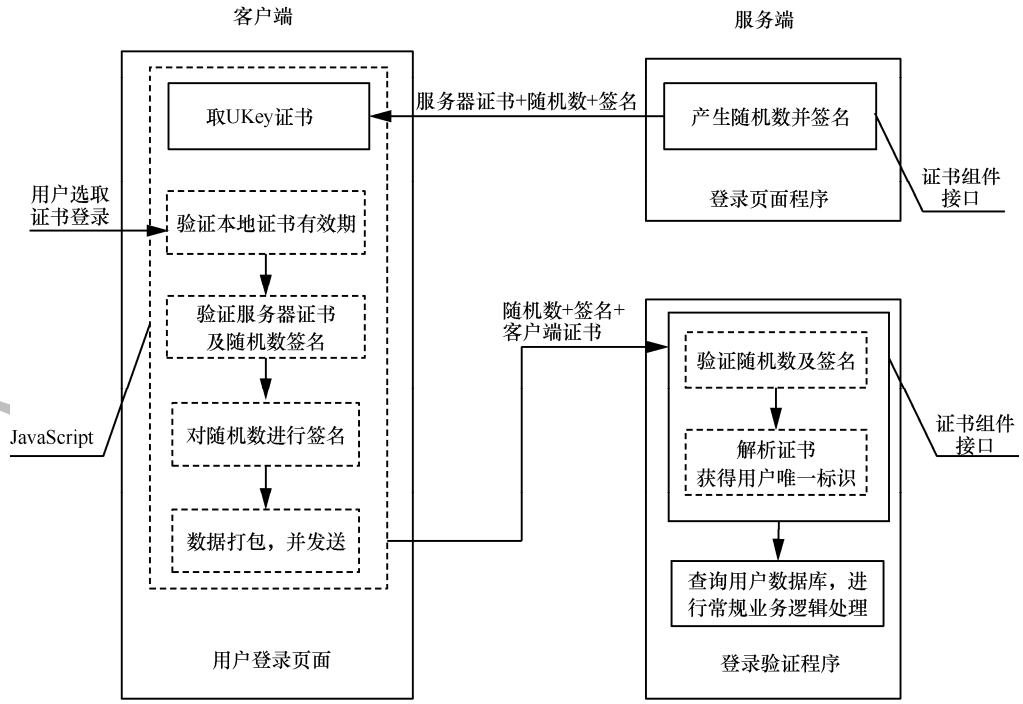


图 1 登录环节的整合示意图

因子认证方式，如果 PIN 码或 UKey 设备单独被窃取，用户身份的合法性仍然可以保证；

- 数字证书的密码算法为国密商用密码 SM2 算法，该算法是一种基于椭圆曲线的非对称密码算法，复杂性高，不易破解，私钥由用户保存，数字证书的使用也保证了登录系统身份的真实唯一性；
- UKey 设备连接电脑主机的 USB 口，通信速率为 12 Mbit/s，是高速设备，系统性能得以保障。

4 结束语

UKey 设备作为可随身携带智能密码钥匙，可以有效地保存用户密钥信息，它既继承了已有智能卡技术的安全性，又结合了新型 USB 接口的数据传输能力，基于它的应用开发技术也日趋成熟。本文中将数字证书应用到硬件 UKey 中来实现 B/S 架构系统中用户的身份认证，实现了客户端和服务端的基于数字证书的安全认证机制。基于 UKey 设备的硬件加密方式比采用软件加密方式的安全性和保密性更高，有效保证了用户身份的真实性，通过此种安全认证机制，极大地提升了系统的安全等级。鉴于将数字证书集成到UKey设备中来实现用户登录的安全优势，此种方法会逐步应用到其他的登录系统中。

参考文献：

[1] 王爱英. 智能卡技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.

[2] AXELSON J. USB 大全[M]. 陈逸, 译. 北京: 中国电力出版社, 2001.

[3] 王亚飞. 一种基于智能卡口令认证方案的研究[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(9): 295-297.

[4] 毛明, 张洁. 基于USB Key身份认证的实验平台管理系统[J]. 科研设计成果, 2008(3): 25-26.

[5] 吴志军, 何诚. 基于安全认证系统设计[J]. 信息安全与通信保密, 2007(4): 72-76.

[6] 吴永英, 邓路. 一种基于 USB Key 的双因子身份认证与密码交换协议[J]. 计算机工程与科学, 2007, 29(5): 56-59.

人民邮电出版社出版

一种微电网最优控制仿真系统的设计与实现

杨明晓[1,2]，洪福斌[1,2]，孙立[1,2]
（1. 国网电子商务有限公司，北京 100053；2. 国网雄安金融科技集团有限公司，北京 100053）

摘　要：全球经济的高速发展对能源的需求越来越高，微电网和分布式发电技术的优势越来越突出。在研究微电网的运行现状和电源特性的基础上，参照已得到的分布式电源数据，综合考虑微电网的结构特性和运行特点后，设计并实现了一种微电网最优控制仿真系统。经实验证明该系统能有效地提高模式识别率，其在微电网分布电源运行控制方面具有一定的参考价值。

关键词：微电网；分布式电源；遗传算法

1　引言

当前，我国电力领域的发展已迈入了结构庞大、高压输电、远距离传送、大容量需求的阶段，已经互联的六大区域电网，网架结构越来越复杂。一方面，范围过大的跨区域的交流同步电网极度不稳定，有很大的可能会造成多区域停电。另一方面，电厂和输电网分开后，发电和售电的利益更加多元化，电厂和电网的矛盾日益凸显，各方面问题也越来越难协调。相较于传统的集中供电方式而言，微电网的并入使得已有电力系统更加有效和可控，微电网能够增强电力系统的可靠性和安全性，对电力系统建设抗灾能力产生有利的影响[1]。

电力系统的边界分布着很多的分布电源，它们是管理的软肋，因为分布式电源往往是以清洁能源和可再生能源为主要方式，但是在大电网管理调用分布电源时，就会出现整个网络的震荡，造成电网系统的不可控，出现安全隐患。因此需要研究更多的相关技术来解决分布式发电的问题。微电网相对于主电网而言，是一个能够自行运行的或由主电网介入管理的电源集合，能够跨越大电网与分布式电源之间的障碍，在一定的区域内，微电网还可以给不同的电源分配不同的任务，使得电量最大化地得到利用，促进我国微电网领域的发展[2]。

2　微电网

2.1　微电网的基本概念

各个国家考虑到各自能源和经济发展的需求，注重微电网的发展方向也各不相同，对微电网给出了不同的定义。美国电力可靠性技术解决方案协会（Consortium for Electric Reliability Technology Solution，CERTS）提出的相关定义：微电网是一种由微型电源和负荷共同组成的系统，它能够同时提供热量和电能；微电网主要是由电力电子器件完成内部的电源能量的转换，并且提供必要的控制；相对于大电网而言，微电网表现为单一受控单元，并同时满足用户对供电安全和电能质量等的要求[3]。

威斯康辛大学提出的有关定义为：微电网是一个由微型电源和负荷组成的独立可以控制的系统，并且可以就地提供热能和电能。日本提出的定义为：微电网是指在某有限区域内根据用户需求，通过可控制的分布式电源来提供电能的小型系统。欧盟科技框架计划（Framework Programme，FP）提出的微电网定义：利用一次能源；使用微型电源，并可冷、热、电三联供；配有储能装置；使用电力电子装置进行能量调节；可在并网和独立两种方式下运行[4]。

2.2　现有微电网的特点

国内已建和在建的微电网试点工程有 14 个，其中国家电网公司建设的试点工程有 11 个，中国南方电网有限责任公司、中国国电集团公司、中国兴业太阳能技术控股有限公司各 1 个。这些试点工程特征有：

- 电压等级都比较低，10 个 380 V，4 个 10 kV；
- 规模都比较小，10 个 1 MW 以下，4 个 5 MW 以下；
- 涵盖不同类型，其中城市并网型微电网 8 个，包括河南郑州财专光储微电网试点、佛山冷热

人民邮电出版社出版

电联供微电网等，偏远农牧区并网型微电网 2 个，包括河北承德微电网试点、蒙东陈巴尔虎旗微电网，海岛地区离网型微电网 4 个，包括浙江南麂岛微电网试点、广东珠海东澳岛微电网试点等[5]。

3 遗传算法

3.1 遗传算法基本概念

遗传算法是模拟达尔文生物进化论的自然选择和遗传学机理的生物进化过程的计算模型，是一种通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法。遗传算法开始于表示潜在的解集，群体和群体的数目由基因编码的个体组成[6,7]。各个体都带有特征标记的染色体。染色体承载了很多遗传信息，聚集了多个基因，它在个体内体现出来的特性就是基因组合，个体所显现出来的外部形状就是由它来决定的。因此，遗传算法的第一步是实现编码，即把表现性对应到基因型。考虑到基因工程的相关原理太过于复杂，通常情况下选择二进制来替代，初始群体产生后，按照达尔文自然生存法则，一代一代地选择、交叉、变异后逼近最优解，在每次选择操作过程中，选择的依据是群体中适应函数值高的个体，然后结合相应的概率进行交叉、变异，以得到拥有新解集的新一代群体。群体在这个过程中就像是生存进化，越来越适合生存，而最后的种群就是寻求的最优解，或者逼近最优解。

3.2 遗传算法运算流程

遗传操作是生物体模拟遗传方法。遗传算法通过编码后的初始种群组成的遗传操作是个体群体的任务，根据其在环境中的操作，发挥一定的适应度评价，以达到优胜劣汰的进化过程。遗传算法主要流程如图 1 所示。

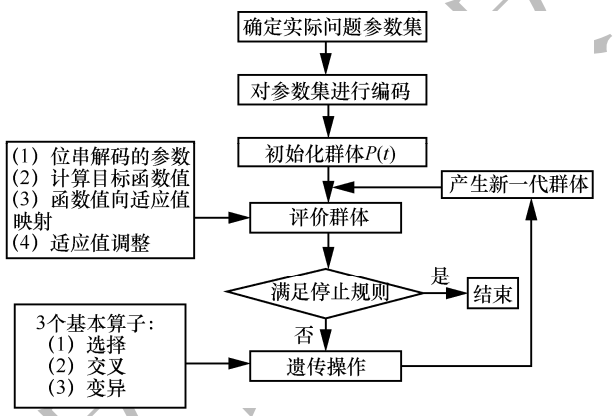


图 1 遗传算法流程

4 系统设计与实现

本项目选择 MATLAB/Simulink 作为开发工具，完成微电网的仿真平台。MATLAB 包括拥有数百个内部函数的主包和三十几种工具包（toolbox）。工具包又可以分为功能性工具包和学科工具包。功能工具包

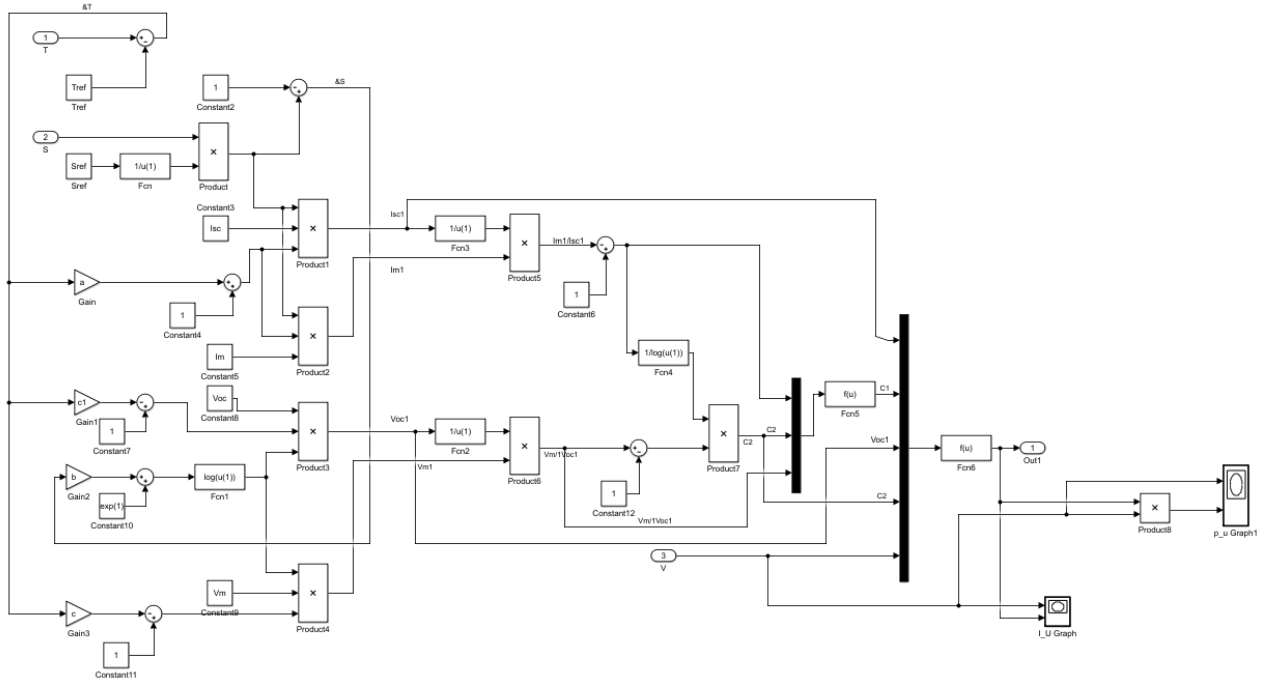


图 2 光伏电池模型仿真

用来扩充 MATLAB 的符号计算、可视化建模仿真、文字处理及实时控制等。

4.1 微电网仿真平台设计与实现

4.1.1 微电网各分布式电源模型实现

在 Simulink 里面没有太阳能电池的部件，因此，为了在 Simulink 里面进行仿真，首先必须建立太阳能电池的模型以供调用。图 2 是太阳能电池的仿真模型。其封装后的效果如图 3 所示。

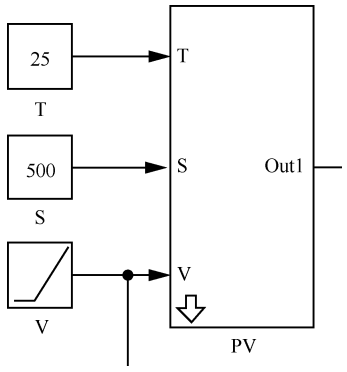


图 3　光伏电池封装后效果

为了分析光伏电池的特性，还连接了 scope 和 to workspace，方便观察运行结果的特性曲线，其连接的仿真结构如图 4 所示。

在运行该部分仿真结构时，能够得到光伏阵列发电模型的特性曲线：I-U、U-P，可以看到在一定的工作电压内，电流没有明显的变化，但是超过该范围后，电流值会急剧下降，而产生变化的点即为最大功率点，图 5 为 I-U 特性曲线，图 6 为 U-P 特性曲线，符合光伏阵列的输出特性。

相同的原理，由于风力发电仿真模型、燃料电池仿真模型和微型燃气轮机的模型属于理想状况下的线性模型，所以只连接了 to workspace 模块，传递控制软件需要的参数。图 7 为风力发电仿真部分效果，图 8 为燃料电池仿真部分效果图，图 9 为微型燃气轮机部分的效果。

其中，微型燃气轮机里面的固定参数 a 是可控参数燃气气体流速，可以通过 workspace 来读取参数，回写参数。

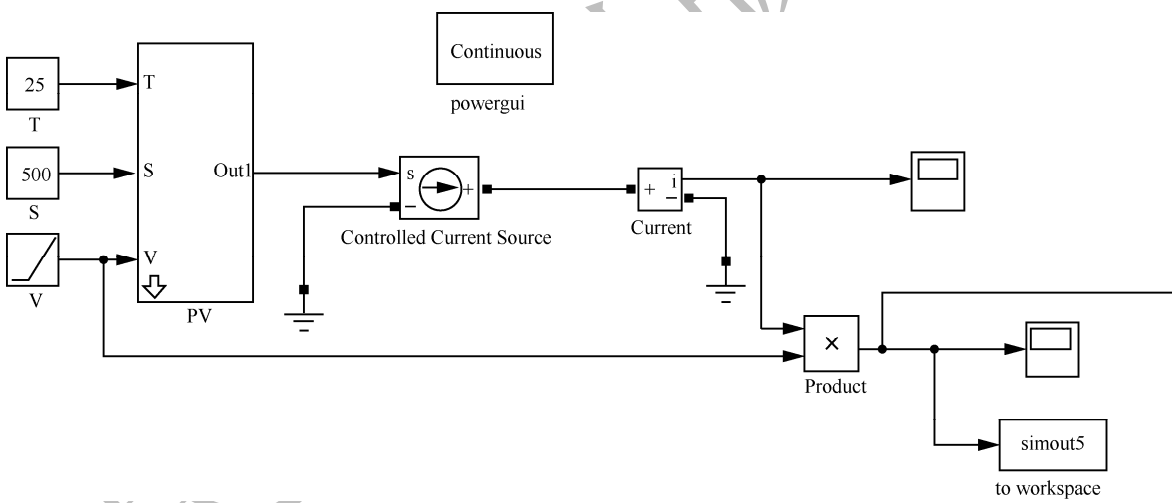


图 4　光伏阵列部分仿真结构

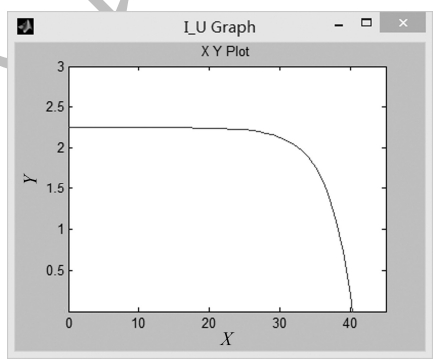


图 5　光伏阵列的 I-U 特性曲线

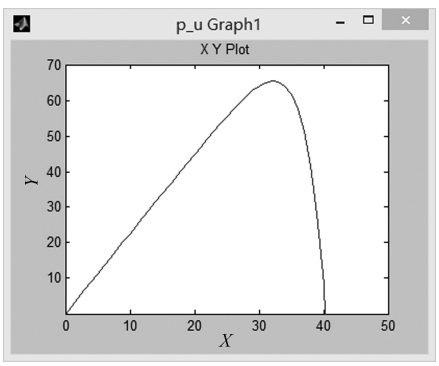


图 6　光伏阵列的 U-P 特性曲线

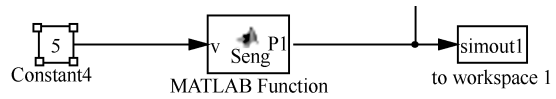


图 7　风力发电机仿真模型

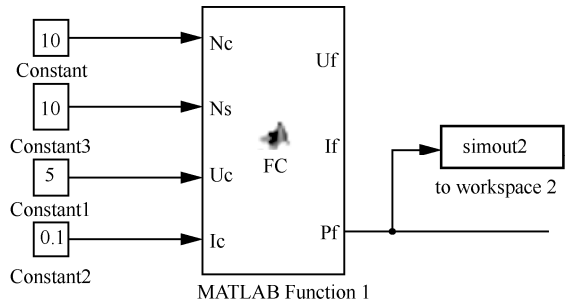


图 8　燃料电池仿真模型



图 9　微型燃气轮机仿真模型

4.1.2　微电网仿真平台的总结构图

将 4.1.1 介绍的分布式电源仿真模型连接之后，就得到了微电网仿真平台总结构，如图 10 所示。

4.2　微电网最优控制软件设计与实现

软件的主要功能设置包括 3 项：读取参数、求取最优解、回写参数，再加上基本的文件退出询问功能，菜单设置如图 11 所示。

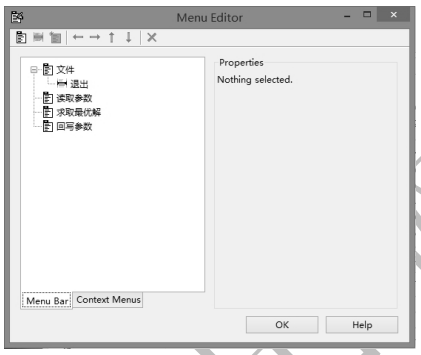


图 11　目录设计

为了能让用户更直观地了解最优解的求取过程，在软件可视化方面增加了折线图，主要是用来体现种群进化的每一代中的最优值和平均值，让软件更加直观，便于用户理解。设计如图 12 所示。

通过可视化控件和部分编程实现微电网的最优控制软件，软件简单明了，与微电网仿真平台之间完成了参数的传递。在微电网仿真平台运行之后，参数已经传递到 workspace，再运行软件，软件的界面如图 13 所示。

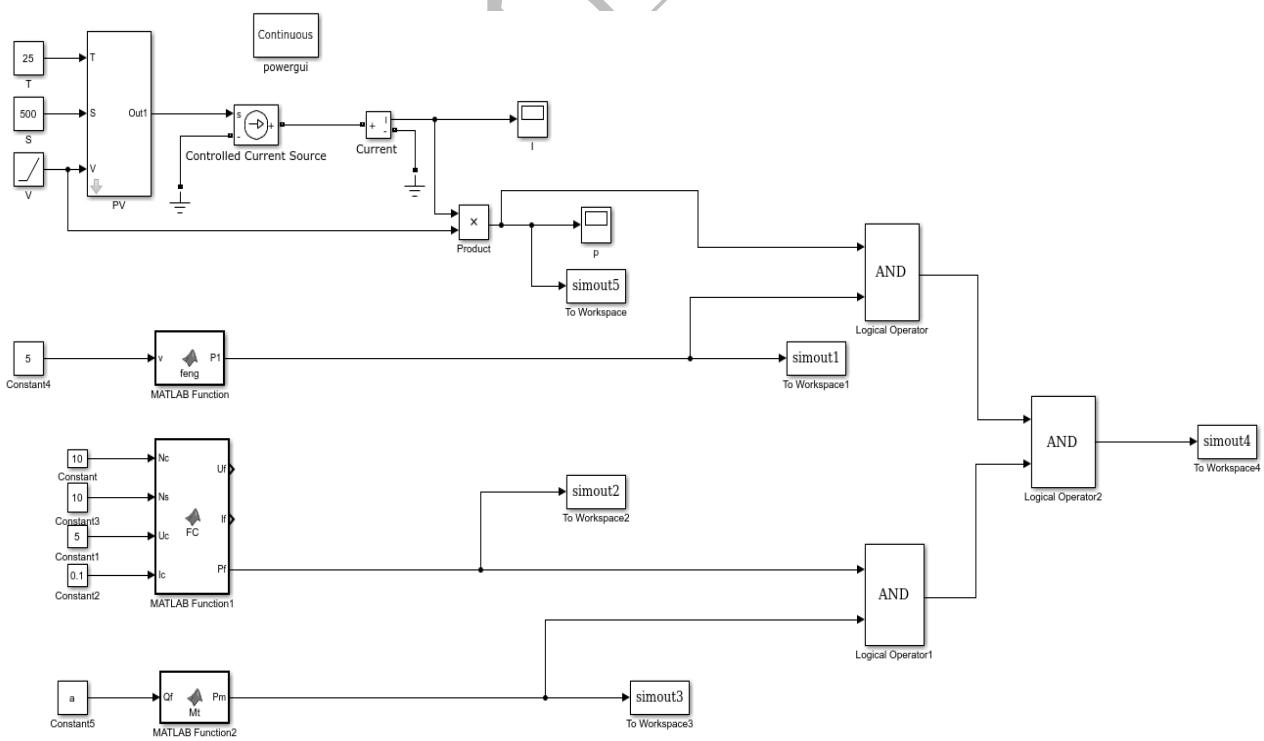


图 10　微电网仿真平台总结构

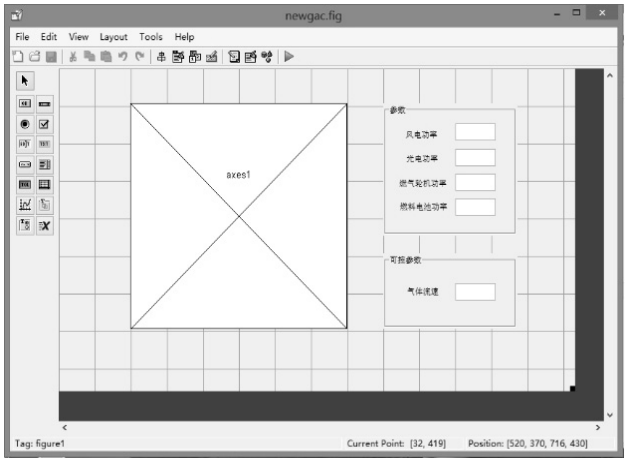


图 12　软件可视界面设计

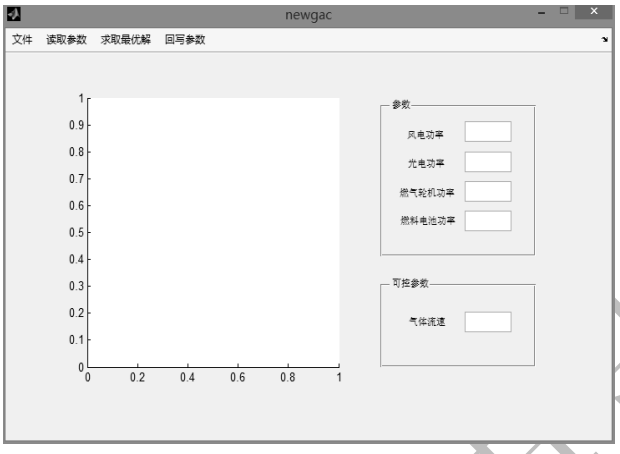


图 13　最优控制软件界面

4.3　微电网最优控制仿真系统分析

4.3.1　参数设置

在遗传算法中，将运算的精度设置为 0.000 1，自变量的取值范围规定为[−5,5]，种群大小设置为 50，最大遗传代数设置为 50，交换概率设置为 0.90%，变异概率设置为 0.90%。代码部分如下：

```
precision=0.0001;
bounds=[-5,5];
popsize=50;
Generationnmax=50;
pcrossover=0.90;
pmutation=0.09;
```

光伏阵列发电模型，在封装之后的参数设置根据其特性研究可以知道，要想达到经济最大化的目标，需要光伏阵列发电处于最大功率，故而要跟踪光伏阵列的最大功率点，这里采用的是扰动分析法，参数设置如图 14 所示。

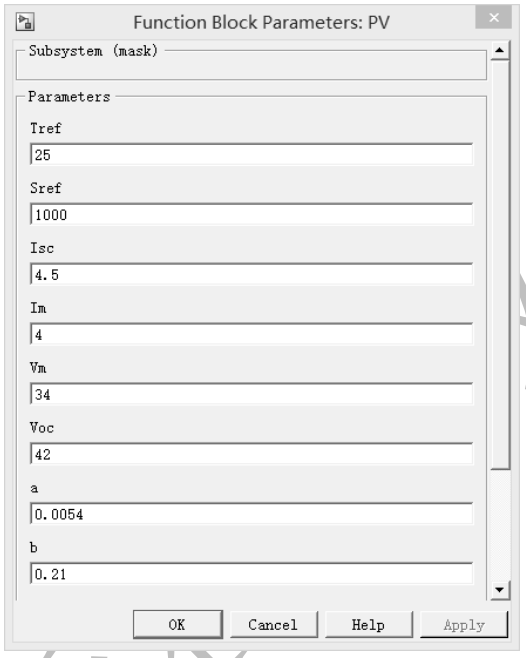


图 14　光伏阵列参数设置

4.3.2　系统实现过程

首先，在运行仿真平台之前，需要给可控参数气体流速 a 赋值，先在 MATLAB2012b 中执行 a=400[30]，然后运行仿真平台，各分布式电源的输出功率就通过 to workspace 模块传到了 workspace，结果如图 15 所示。

Name	Value
a	400
i	<1x1 struct>
i1	<1x1 struct>
simout1	<52x1 double>
simout2	<52x1 double>
simout3	<52x1 double>
simout4	<52x1 logical>
simout5	<52x1 double>
tout	<52x1 double>

图 15　workspace 中的参数

然后，运行最优控制软件，软件打开之后，点击读取参数按钮，workspace 里的数据就会被读到软件中。这部分功能主要是通过下面代码来实现的：

```
f=evalin('base','simout1');
f2=num2str(f(1,1));
set(handles.edit2,'string',f2);
```

先将数据通过 evalin 从工作空间即 base 中读取赋值，然后从矩阵中读取需要的数据，最后，把得到的值

赋给空间的某一属性，使结果能在用户界面显示出来。

在求取最优解的过程中，点击求取最优解按钮，程序会自动调用遗传算法代码，经过选择、交叉、变异操作，选择更适合生存即适应度函数值更大的个体，淘汰掉不符合要求的个体，进而找到最优解。在求解过程中记录每一代的种群最优值和平均值，做成折线图，便于用户直接观察、理解。执行完之后，就会找到一个最优解，通过计算将其转换为可控参数的值，并复制给对应的控件参数，使其能够显示出来。

回写参数的过程是通过 assignin('base','*a*',*q*)函数来实现的，该函数能够将变量 *q* 写回到工作空间 base 中，并赋值给 *a*，这样就能改写 *a* 的值，从而改变了仿真平台的参数，达到了控制的作用。

4.3.3 系统运行结果

软件读取参数后的结果如图 17 所示，求取最优解后的结果如图 18 所示，回写参数后的结果如图 19 所示。

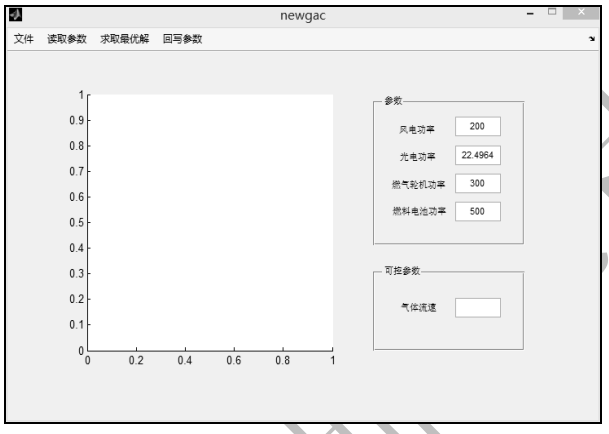


图 17 读取参数结果

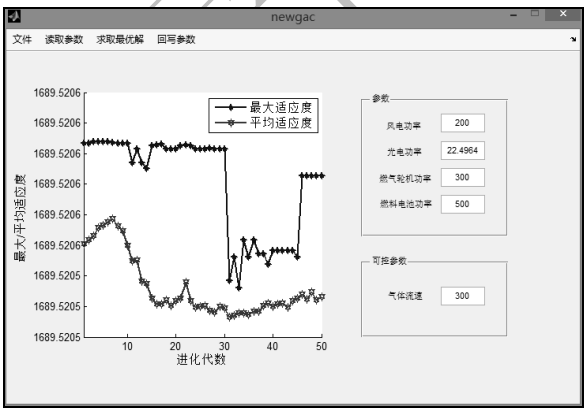


图 18 求取最优解结果

Name	Value
a	300.0000
i	<1x1 struct>
i1	<1x1 struct>
simout1	<52x1 double>
simout2	<52x1 double>
simout3	<52x1 double>
simout4	<52x1 logical>
simout5	<52x1 double>
tout	<52x1 double>

图 19 回写参数结果

5 结束语

本文提出了一种微电网最优控制仿真系统的设计与实现方法，由实现最优控制的遗传算法这一关键模块展开研究，如基本的概念介绍、基本的过程步骤以及基本原理，并对遗传算法的最优控制实现作了简单说明。同时阐述了微电网、遗传算法等基本概念和意义，叙述了分布式电源的仿真模型，并在此基础上描述了分布式电源的仿真平台结构，阐明了有关仿真模型的关键概念及参数设置。

本文提供了一组某地 24 h 内负荷情况以及分布式电源参数的算例。对仿真模型参照算例进行参数的设置，并通过最优控制软件找到最优解，实现最优控制。之后基于对仿真模型以及最优控制的原理和实现的了解，对算例的实验结果进行了简单的分析介绍。实验证明，该系统能有效地提高模式识别率，其在微电网分布电源运行控制方面具有一定的使用参考价值。

参考文献：

[1] 贾东梨, 杨旭生, 史常凯. 智能电网对用户用电的影响[J]. 电力建设, 2011(6): 13-17.

[2] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网[J]. 电网与清洁能源, 2009(1): 7-11.

[3] 杨新法, 苏剑, 吕志鹏, 等. 微电网技术综述[J]. 中国电机工程学报, 2014(1): 57-70.

[4] 李洪鹏. 国内外微网研究的现状与未来[J]. 企业研究, 2013(7X): 11-13.

[5] 马艺玮, 杨苹, 王月武, 等. 微电网典型特征及关键技术[J]. 电力系统自动化, 2015(8): 168-175.

[6] 吉根林. 遗传算法研究综述[J]. 计算机应用与软件, 2004, 21(2): 69-73.

[7] 李基栋, 黄炜斌, 湛洋, 等. 基于嵌套优化的梯级水电站日总负荷分配研究[J]. 工程科学与技术, 2017(s1): 59-65.

用电大数据背景下的负荷分析及预测

邵俊，郑飞，李昆明，张开振，仲春林
（江苏方天电力技术有限公司，江苏 南京 211102）

摘　要：随着信息化时代的迅速发展，全球数据量正在爆炸式地增长，为数据挖掘分析带来了无限的机遇，同时也给数据分析处理带来了巨大的挑战。电力行业关系着国家的发展和人民的生活，也需要依托大数据技术提高电力系统的运行经济性、可靠性。以大数据技术为基础，首先开展了配变负荷曲线聚类研究，为研究配变负荷特性、预测配变负荷走势做好铺垫；其次，分析了行业用电与气象因素直接的关系，并建立了行业负荷影响因素模型，为分析行业负荷特性打好基础；最后，针对分行业分地区负荷大数据，展开负荷分析和建模研究，实现基于地区行业负荷细分的网供负荷预测。

关键词：大数据；负荷聚类；行业负荷特性；用电影响因素模型；负荷预测

1　引言

随着信息化时代的迅速发展，全球数据量正在爆炸式地增长，物联网技术的发展，移动终端、数字传感器等数字信号设备的大范围应用，都产生了海量的数据信息。信息量的爆炸式增长，为数据挖掘分析带来了无限的机遇，同时也给数据分析处理带来了巨大的挑战[1]。

大数据时代已然到来，率先展开大数据相关研究的是互联网、信息通信行业。对传统行业而言，大数据也同样具有深远的研究意义和光明的应用前景。国内外能源电力行业已经展开了第一轮的大数据研究与应用。IBM 利用 4PB 的气候、环境历史数据，设计风电机组的选址模型，从而提高风电机组发电效率、延长风电机组的使用寿命；针对电网部分的大数据研究，IBM 也发布了相关的解决方案。中国电机工程学会电力信息化专委会也于 2013 年发布了《中国电力大数据发展白皮书》[2]，推动和指导国内电力大数据研究工作的开展。自此开始，国内电力领域的研究者们也开始了大数据研究与探索之路[3-5]。

本文以大数据技术为基础，展开了用户侧的相关研究工作，主要包括配变负荷特性分析、用电影响因素分析、短期负荷预测等研究内容。

2　基于大数据的配变负荷特性

电力系统负荷建模是电力系统仿真分析的重要基础，负荷建模的准确性直接关系到仿真计算的可信度和精确性[6]。负荷建模需要建立在对电力负荷特性充分分析的基础之上，而面对海量的负荷数据，对每一台配变的负荷特性进行分析是不可能的，因此有必要对用户进行负荷聚类，根据聚类结果分析不同用户群的负荷特性[7-8]。

K-means[9]聚类算法简单易行，操作简便，是目前使用最为广泛的聚类方法之一。它首先选定一组初始聚类中心，通过迭代使得类间保持独立、类内保持紧密，迭代期间将聚类子集中所有数据样本的均值作为类的中心。

基于 *K*-means 算法的配变负荷曲线聚类方法流程如下：

（1）对配变负荷曲线进行相异度分析，找出相异度最大的 *N* 条负荷曲线，作为 *K*-means 聚类算法的初始聚类中心；

（2）将所有负荷曲线分别与 *N* 个聚类中心进行相似度计算，并将负荷曲线归入相似度最高的作为聚类中心的负荷曲线那一类中；

（3）所有负荷曲线全部分类完成后，对各类别下的所有曲线群取平均值，并以此平均值曲线更新各类别当前的聚类中心，检查当前所有聚类中心与上一次迭代得到的聚类中心差值是否均小于预设阈值，若是，则进入步骤（4），否则，转入步骤（3）；

（4）聚类结束，显示聚类结果。

对 *K*-means 聚类得到的 *N* 类负荷聚类结果进行特

人民邮电出版社出版

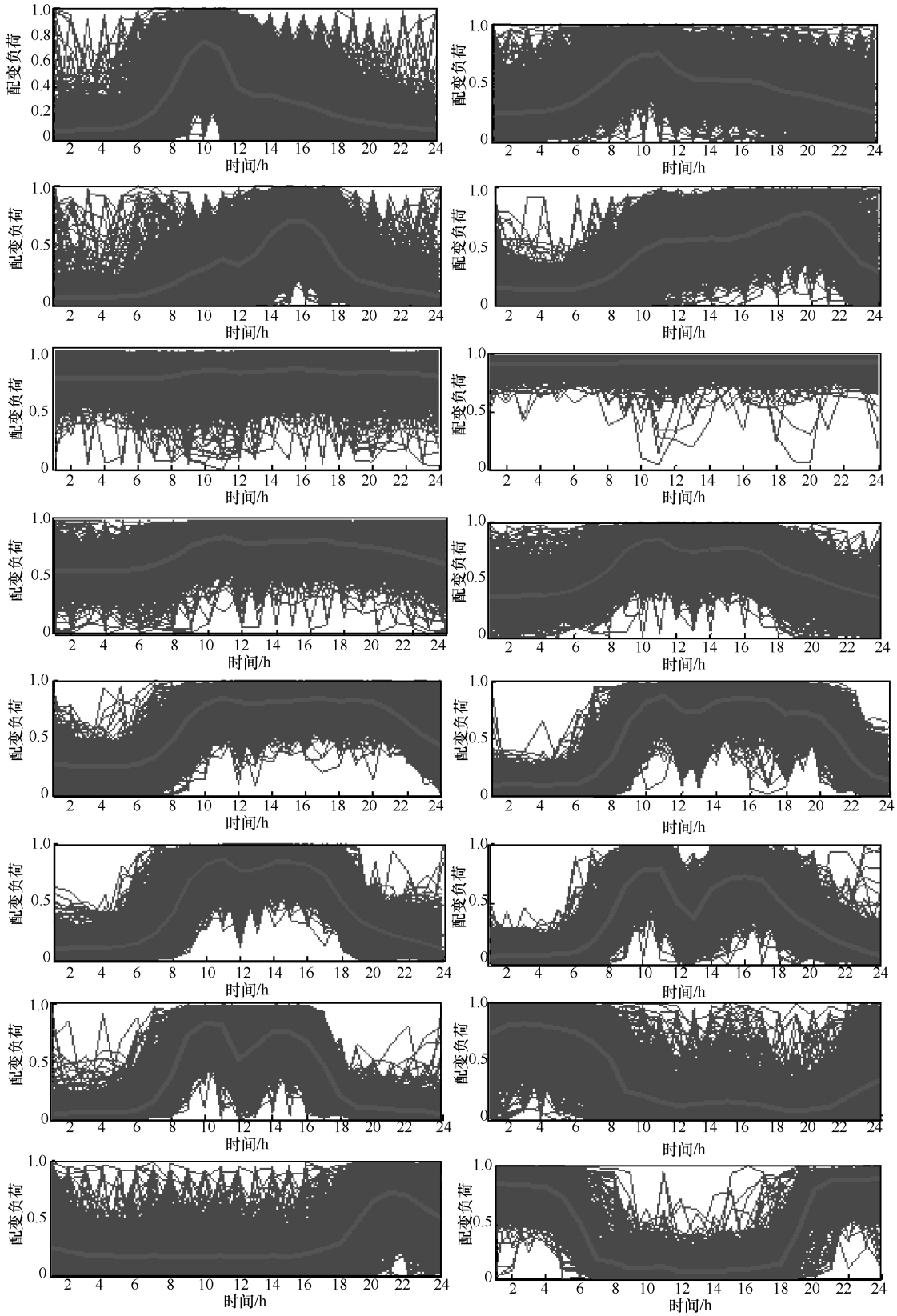


图 1　配变负荷曲线聚类结果

征分析，摘取用电特征明显的聚类结果，如具有全天负荷均衡、白天负荷较高、晚上负荷较高的特征，计算所得各类曲线的聚类中心，辨识各类曲线的特征，对各类曲线的聚类中心进行二次分类，得到几种典型的负荷聚类结果。典型的负荷聚类结果包括短时出现高负荷；全天负荷均衡；白天负荷较高；白天负荷较高，但中午略降；夜间负荷较高。

选取40 000条配变负荷曲线，进行负荷曲线聚类，分析配变的用电特性。聚类结束后，从聚类得到 20 类曲线中，选取用电特征明显（例如全天负荷均衡、白天负荷较高、晚上负荷较高的特征）的16类曲线（共计 35 204 条，占总数的88%），如图1所示，聚类结果按照1~16编号，便于后文描述，第一行为聚类1、2，第二行为聚类3、4，以此类推。

上述 16 类曲线按照其用电特征可以划归为如下四大类：

- 短时出现高负荷，代表类型为聚类1、3；
- 全天负荷均衡，代表类型为聚类5、6；
- 昼负荷较高，代表类型为聚类8、12；
- 夜负荷较高，代表类型为聚类14、15。

准确分析配变负荷特性，可以提供配变负荷建模的准确度，从而为后续的配变用电行为分析、配变负荷预测、配变重过载预警、有序用电等工作打下良好的量化基础，更深远地，配变负荷特性分析可以为分析居民用电行为、小区配套设施、地区电力消费水平、人民生活水平提供丰富的基础数据，从而从电力角度实现对居民的人文关怀。

3 基于大数据的行业用电影响因素

较用户而言，行业负荷具有更加鲜明的特征和规律[10]，而且其在网供负荷中的占比也较大，江苏工业行业负荷约占总负荷的80%左右。因此，有必要针对行业负荷数据，研究温度、湿度等气象条件对行业用电负荷的影响，实现行业用电影响因素的准确建模，为行业负荷特性分析、负荷预测打好基础。

为量化气象条件对负行业荷的影响程度，提高行业负荷气象模型的精确度，取3年的历史工作日行业负荷数据构建负荷气象模型。具体构建步骤如图2所示。由于工作日和周休日用户负荷呈现出完全不同的用电行为习惯，因此将3年内的用户负荷数据划分为工作日负荷和周休日负荷，分别加以分析。

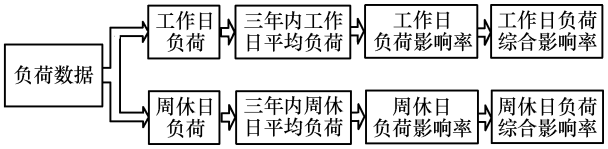


图2 负荷气象模型建模流程

以工作日为例，建模流程如下。

（1）抽取用户近 Y 年内工作日负荷数据，计算最近 Y 年内，每年的96点平均负荷值。

$$\overline{P}_{(y,i)}=\sum_{k\in W}P_{(y,d,i)}\Big/D_y \tag{2}$$

其中，下标 y 为年份，d 为日期，i 为96点负荷的序号；$\overline{P}_{(y,i)}$ 为第 i 个负荷点在年份 y 的工作日平均负荷；$P_{(y,d,i)}$ 为用户在年份 y 的第 d 个工作日第 i 个负荷点数据；D_y 为用户年份 y 工作日的天数，W 为年份 y 工作日集合，$k\in W$ 表示 k 取自集合 W。

（2）逐日逐点计算每个点的负荷影响率。

$$R_{(y,d,i)}=(P_{(y,d,i)}-\overline{P}_{(y,i)})\Big/\overline{P}_{(y,i)} \tag{3}$$

其中，$R_{(y,d,i)}$ 表示用户在年份 y 的第 d 个工作日第 i 个负荷影响率。

将温度划分为>40、<−4、−4~40这3个档位，因此将形成45×96个温度—负荷影响率序列 $S_{(i,t)}$。

$$R_{(y,d,i,t)}\in S_{(i,t)} \tag{4}$$

其中，由于此时要将温度对应到各负荷影响率，因此给 $R_{(y,d,i)}$ 增加了温度 t 标签；式(4)的含义为：将时刻为 i、温度为 t 的负荷影响率数据 $R_{(y,d,i,t)}$ 都归入集合 $S_{(i,t)}$ 中。

（3）计算温度—负荷综合影响率。

为了体现温度对负荷率的影响，对各温度档位下的负荷影响率集合 $S_{(i,t)}$ 计算平均值，得到行业气象负荷综合影响率。

经过上面几步计算，行业负荷气象模型已经基本构建完成，模型三维展示图如图3所示。

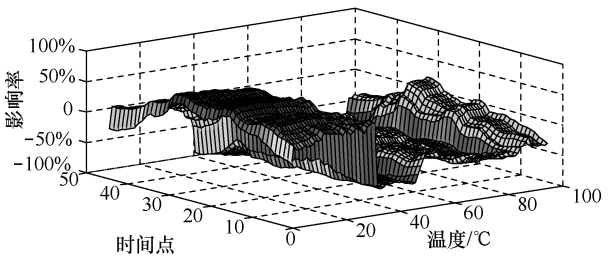


图3 南京水泥制造行业负荷气象模型

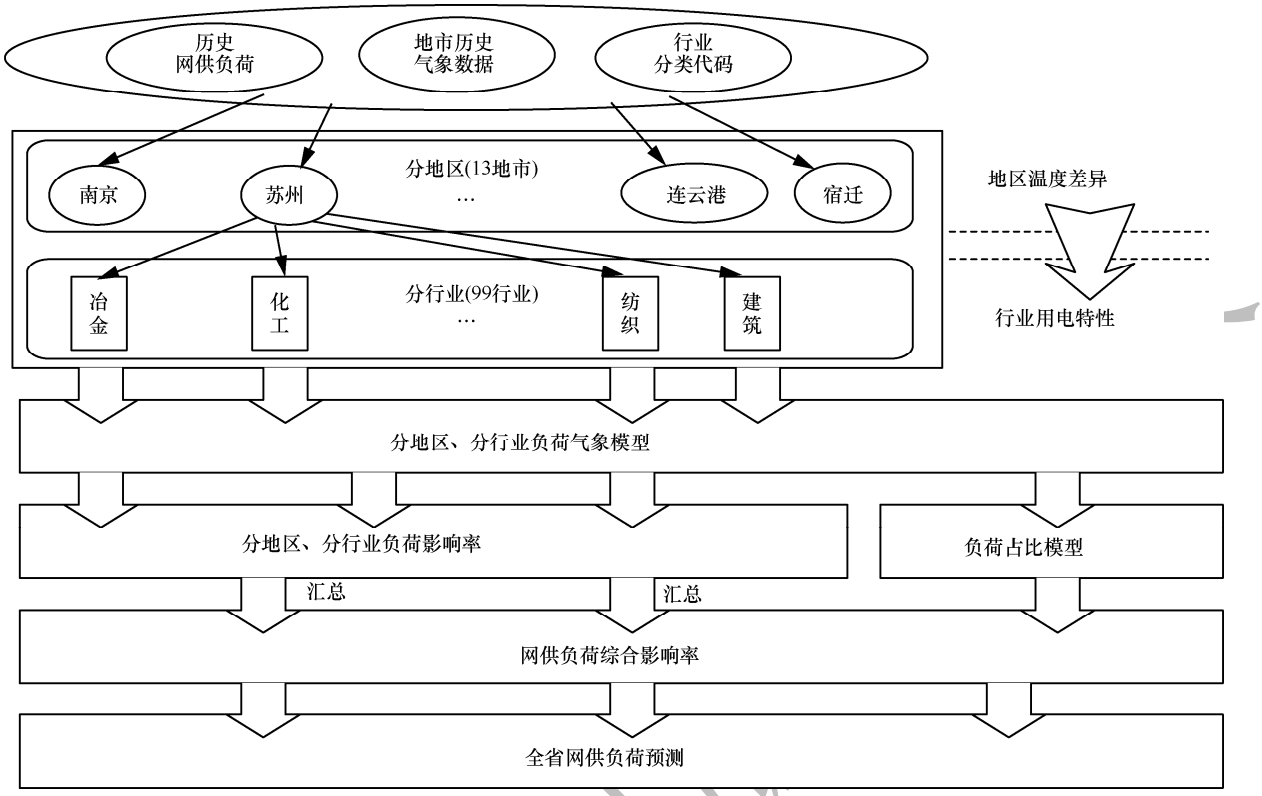


图 4　基于地区行业细分的网供负荷预测

可见水泥制造的分时特性较为明显，基本上负荷安排在晚上 21:00 至早上 8:00，而温度的上升，也导致水泥行业负荷上升。

行业用电气象影响因素模型的构建，为开展行业用电行为分析，提高行业负荷预测精度打下了基础，将为预测业扩报装容量、预售电量，安排负荷错峰运行，优化供电网络，升级供电设备等传统电力业务提供了数据支持。从更深层次的意义来看，行业用电影响因素的分析，将为政府了解行业历史走势、分析行业发展态势、制定行业发展战略、发展地区特色行业提供理论基础和量化支撑。

4　基于行业用电大数据的网供负荷预测

行业负荷在网供负荷中的占比较大，而且其负荷特征明显，更利于分析和预测，因此针对分行业分地区负荷大数据，展开负荷分析和建模研究，实现基于地区行业负荷细分的网供负荷预测。预测思路如图 4 所示。

（1）为考虑地市温度差异，建立地市历史负荷数据和地市气象数据的映射关系；在地市划分的基础上，为考虑行业负荷特性，将地市负荷划分为分地区行业负荷。

（2）根据地市历史气象数据、行业负荷特性、行业经济状况、节假日信息等，建立所有地市的 99 行业负荷气象模型。

（3）根据负荷气象模型计算全省所有地市 99 行业的负荷影响率，结合分地区行业负荷占比模型和预测日气象预报信息，计算网供负荷的综合影响率。

（4）根据相似日网供负荷数据和网供负荷综合影响率得到预测日网供负荷预测结果。

网供负荷预测曲线对比如图 5 所示。

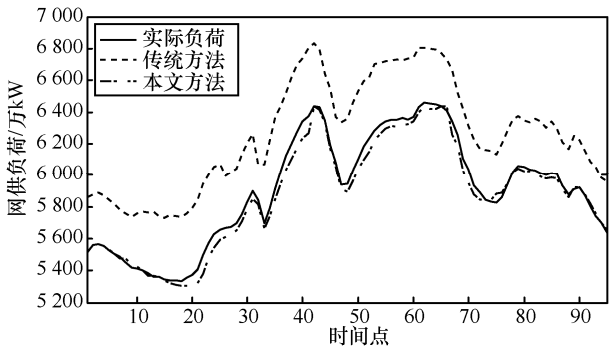


图 5　网供负荷预测曲线

可见本文方法较传统方法预测效果更好，这主要

是由于本文方法综合考虑了地市温度差异、行业用电特性，比传统预测方法考虑的因素更加细致，更有利于负荷预测准确度的提高，可以与传统方法优势互补，协作提高负荷预测的准确度。

网供负荷预测准确度的提高，有利于电力企业制定发电计划、优化电网运行、规划电网建设，可以指导电力企业提前制定错峰、调峰策略，提高电网运行经济性，降低高峰时段负荷压力，为提高电网运行可靠性、安全性奠定基础，为提高客户用电可靠性保驾护航[8]。

5 结束语

本文以用电大数据为基础，探讨了以下研究工作。

（1）基于现有的配变负荷大数据，通过 *K*-means 聚类算法对负荷曲线进行聚类，并在聚类结果的基础上开展了配变负荷特性分析，分析结果可以为后续的配变用电行为分析、配变负荷预测、配变重过载预警、有序用电等工作打下良好的量化基础，可以为分析居民用电行为、小区配套设施、地区电力消费水平、人民生活水平提供丰富的基础数据，从而从电力角度实现对居民的人文关怀。

（2）针对行业负荷数据，研究了气象条件对行业用电负荷的影响，实现行业用电影响因素的准确建模，为行业负荷特性分析和负荷预测打下了基础，为预测业扩报装容量、预售电量，安排负荷错峰运行，优化供电网络，升级供电设备等传统电力业务提供了数据支持；此外，行业用电影响因素分析将为政府了解行业历史走势、分析行业发展态势、制定行业发展战略、发展地区特色行业提供理论基础和量化支撑。

（3）针对分行业分地区负荷大数据，展开负荷分析和建模研究，实现基于地区行业负荷细分的网供负荷预测。负荷预测准确度的提高，有利于电力企业制定发电计划、优化电网运行、规划电网建设，可以指导电力企业提前制定错峰、调峰策略，提高电网运行经济性，降低高峰时段负荷压力，为提高电网运行可靠性、安全性奠定基础，为提高客户用电可靠性保驾护航。

参考文献：

[1] 维克托·迈尔-舍恩伯格, 肯尼斯·迈克耶. 大数据时代: 生活、工作与思维的大变革[M]. 周涛, 译. 杭州: 浙江人民出版社, 2013: 1-23.

[2] 中国电机工程学会信息化专委会. 中国电力大数据发展白皮书(2013)[R]. 北京: 中国电机工程学会, 2013.

[3] 张铁峰, 梁思博, 顾建炜, 等. 配用电大数据应用综述[J]. 电测与仪表, 2017, 54(2): 92-99.

[4] 杨一帆, 傅军, 朱天博, 等. 电力客户用电行为特征挖掘与预测[J]. 电测与仪表, 2016, 53(z1): 111-114.

[5] 孟祥萍, 周来, 王晖, 等. 基于 hadoop 云平台的智能电网 MapReduce 数据计算技术研究[J]. 电测与仪表, 2015, 52(10): 66-72.

[6] 鞠平, 马大强. 电力系统负荷建模(第二版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.

[7] 刘永光, 孙超亮, 牛贞贞, 等. 改进型模糊 C 均值聚类算法的电力负荷特性分类技术研究[J]. 电测与仪表, 2014, 51(18): 5-9.

[8] 朱天博, 傅军, 杨一帆, 等. 基于用电信息采集系统用户负荷特性聚类分析[J]. 电测与仪表, 2016, 53(z1): 70-73.

[9] 鄢小虎, 何发智, 卢文华, 等. 基于粒子群 K 均值算法的变压器在线故障诊断研究[J]. 电测与仪表, 2016, 53(4): 1-4.

[10] 薛季良, 顾洁, 杜渐, 等. 基于分行业负荷曲线的地区电网分级负荷预测[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 28(1): 18-21.

人民邮电出版社出版

用户侧柔性负荷调控实现需求响应

钱科军[1]，李博[2]，王卫卫[2]
（1. 国网苏州供电公司，江苏 苏州 215000；2. 北京国电通网络技术有限公司，北京 100070）

摘　要：构建基于“互联网+”的电力需求侧实时响应机制，建立以市场为主导的运营模式。开展居民智能用电建设，监测居民侧电力负荷、家庭大功率电器等用电数据，一方面通过和用户实时电力信息交互，引导用户主动调节负荷，指导居民有序用电；另一方面，将居民用户纳入需求响应范围，在不影响居民正常生活的情况下，根据电力高峰时段和用户意愿，通过调控平台对居民侧的大功率电器进行柔性负荷调控，以提升海量微负荷参与电网调峰的能力。进而有效降低高峰电力负荷，实现削峰填谷，提高现有电网利用率，保障电网供电的安全可靠。

关键词：需求响应；有序用电；柔性负荷调控；电网调峰；削峰填谷

1　引言

近年来，伴随经济的高速发展，人们面临着电网供需矛盾日益突出、资源消费日益紧张、用电量持续增长等挑战。虽然在整体的用电结构中，居民用电份额较小，但在用电高峰时段的负荷[1]影响不容忽视，夏季空调、热水器频繁使用，造成了居民侧电力负荷[1-2]在用电高峰期的迅速增长。由于居民用电比较集中，这造成地区负荷的剧烈波动，使负荷平衡[2]工作面临紧张局面。此外，随着人民生活水平的不断提高，可以预见，居民用电将在未来很长一段时间内继续保持高速增长趋势，并逐年增加对负荷的影响。

对于居民用户，互动是实现居民智能用电的一种重要形式，通过细粒度能源可视化、能效诊断和节能指导等手段，可大幅提升居民用电行为的感知水平，为需求响应[3]提供底层数据和技术支撑，指导居民参与家庭能源管理[4]和节能改造，探索用户与电网友好互动新模式，进一步实现电网运行削峰填谷[2]，提高电网设备利用率和电网运行效率，确保电网安全稳定运行，最终实现居民用户与电力企业的双赢。

2　需求响应支撑智能电网

需求响应是智能电网[4]的核心技术，是智能电网的最佳应用之一，在智能电网的技术支持下，需求响应使得负荷调度真正成为可能，在系统优化运行中发挥重要作用，从而提高能源利用效率，扩大新能源使用率。这是智能电网建设的特点之一。通过建设需求响应系统及配套的手机客户端软件，实现区域范围内智能用电相关业务的数据接入、处理和集中展示，实现区域居民家庭能效数据的规模化采集、处理、分析等，建立区域能效数据地图，实现区域内居民能效数据的监测及用电负荷的监控，为电力公司及其居民用户掌握家庭能效信息提供便捷手段，引导居民有序用电。同时实现与需求响应平台的有效互通，在用电高峰期或电网资源缺乏时，通过手机客户端软件和用户实时电力信息交互，开展电力需求响应邀约，根据电力高峰时段和用户意愿，基于需求响应平台的调控指令对空调等大功率电器开展柔性负荷调控，从而配合电力公司开展电力需求响应活动，有效降低高峰电力负荷，达到电网平稳运行的目的。

3　柔性负荷调控实现需求响应

空调系统是适合柔性负荷调控[5-6]的主要对象，可短时间关停或低功率运行。通过需求响应终端，可以在用户侧监控空调系统运行[7-8]，需求响应终端与需求响应聚合系统[9]双向互动，系统发布需求响应事件。终端根据用户当前设备运行状态预测可调负荷容量，并将信息传送至系统，系统通过计算得出区域可调负荷容量，根据需求响应项目安排，下发指令到终端，对用户侧空调系统进行柔性调控，达到降低高峰负荷的目的。

需求响应系统包括业务支撑系统和终端设备，系统架构如图 1 所示。在需求响应的实施过程中，业务支撑系统通过终端设备获取用户当前的运行状态，预

人民邮电出版社出版

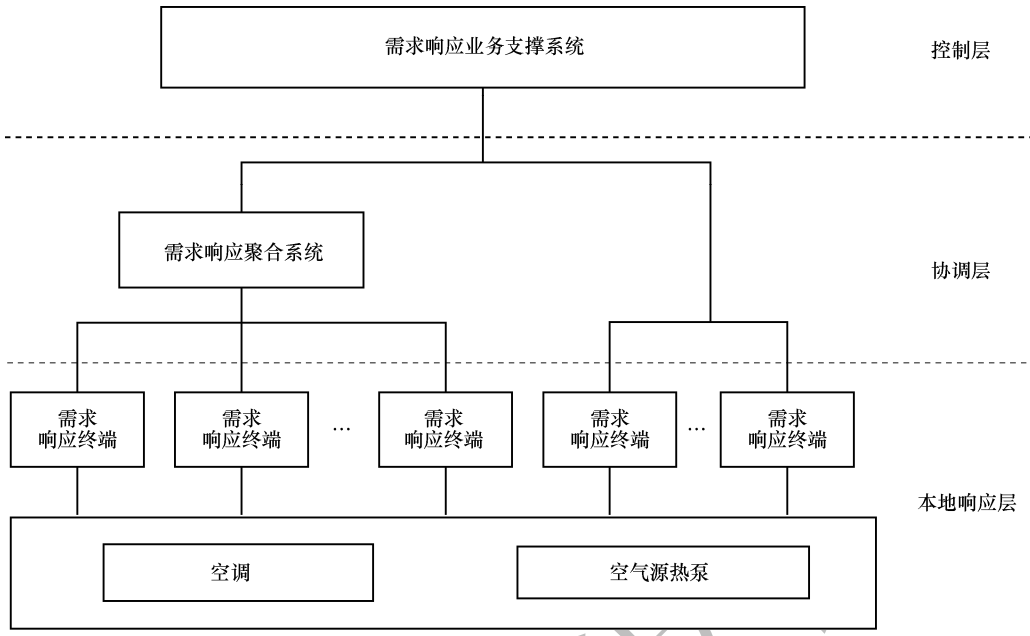


图 1　需求响应业务支撑系统架构

测可调负荷潜力，并制定需求响应计划；执行需求响应方案时，业务支撑系统的运行策略对安装在用户侧的终端设备进行调控，短时关停或低功率运行空调主机，达到降低空调系统负荷的效果。需求响应业务支撑系统支持用户的直接接入和负荷聚合服务商的接入。一是搭建统一的柔性负荷调控业务支撑平台，在用户侧安装需求响应终端，实现柔性可调资源的集中控制；二是不在用户侧安装终端，而是通过负荷集成商将用户侧柔性可调资源进行聚合，再与部署的支撑平台进行业务交互。需求响应终端用于监测中央空调系统运行状态，通过接口协议控制主机运行功率、风机水阀开度、冷冻水出水温度等参数，执行需求响应策略，同时监测执行效果，分析节电潜力。

4　关键技术

综合利用嵌入式系统集成技术、云计算、物联网、移动互联网等新一代信息技术，构建由智能设备、移动客户端、后台支撑系统组成的基础信息支撑平台。在电力公司侧，通过后台支撑系统实现与营销需求响应平台、用电信息采集系统等相关业务系统的对接。在用户侧，通过需求响应终端接入手机客户端软件系统，实现对家庭大功率电器的用电信息采集与负荷调控，同时实现双向互动智能服务。此外，建设统一互动服务数据采集与控制系统，通过与智能家电厂商智能云系统的对接互动系统，完成与智能空调等智能家电的接入、控制和用户互动。实现与智能家电厂商云平台的对接，通过接口技术，统一智能空调的监测模式、控制模式和通信模式，最终实现智能空调的可监测、可控制。

5　关键设备

利用用户家庭中已有的无线网络，直接与需求响应终端及软件进行交互。在空调、热水器等大功率家电上应用此类产品，使用户可通过客户端程序对家电运行情况进行远程监控，实现为用户提供丰富的智能用电服务，满足用户多样化、智能化、互动化用电的需求。同时，电力公司可根据区域配电线路负荷情况，通过负荷监控平台对合同用户的家电进行远程调控，达到降低尖峰负荷的目的。

需求响应终端具备用电数据计量、远程控制以及红外遥控基础支撑功能。

（1）用电数据计量

需求响应终端内置计量芯片，通过对空调用电信息的采集，按照每天 96 次的频度上报居民需求响应系统，用户可以在配套的手机 App 上查看空调的实时负荷、日用电量、月用电量、年用电量等。

（2）远程控制

利用用户家庭中已有的无线网络，直接与需求响

应终端、移动客户端软件进行交互。借助信息集成技术、通信技术、互动技术，实现家用电器的统一控制。

（3）红外遥控

红外遥控功能是指带红外遥控模块的需求响应终端，它有两种状态：学习状态和控制状态。当遥控器处于学习状态时，用户通过 App 软件云端码库获得电器遥控，或者每按一个电器自带遥控器控制键，红外线接收电路就开始接收外来红外信号。当遥控器处于控制状态时，使用者每按下一个终端控制键，由红外线发射二极管进行发射，从而实现对该键对应电器功能的控制。

6 典型用户负荷效果

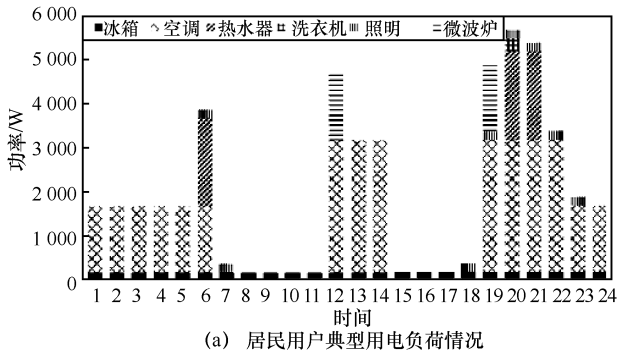
首先提取典型的用户主要负荷设备运行情况及构成，根据样本分析用户典型负荷，包括空调、热水器、冰箱、微波炉、洗衣机、照明等，各类负荷功率占用比分别为 42%、28%、2%、21%、4%、3%。其中，空调负荷和热水器为可调节负荷，两项用电负荷占家庭总用电负荷的 70%左右。用户典型设备用电情况见表 1。

表 1 用户典型设备用电情况

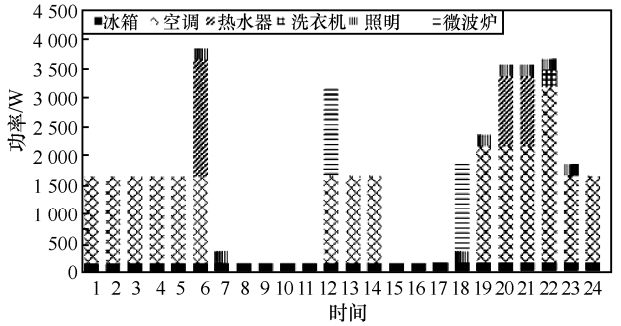
设备类型	功率/W	数量/台	总功率/W
冰箱	140	1	140
空调	1 500	2	3 000
热水器	2 000	1	2 000
洗衣机	300	1	300
照明	100	2	200
微波炉	1 500	1	1 500

典型用户数据显示，在用户侧安装智能用电管理平台，通过能效监测评估、电价信息推送和自动需求响应，引导用户对空调、热水器进行远程控制，在用户可接受温度变化范围内对可调负荷的调控度可达到 30%以上。其中，典型用户的负荷转移削减情况如图 2 所示，而设调控时段为 12:00—14:00、19:00—21:00，降负荷目标量为 2 000 W，空调功率下降 500 W，热水器下降 800 W，转移微波炉及关停 30%照明及其他可停设备，总负荷下降达 2 100 W，其中在高峰用电时段，用户用电峰值从原来的 6 000 W 下降为 3 500 W 左右。

根据典型用户设备响应情况，可预测针对用户进行通过向用户推送各类用电信息、用电优化策略指导用户合理用电，可实现用户能效提升 5%以上，需求响应率达到 41.86%，在高峰时段有效削减负荷量 14.6%左右。



(a) 居民用户典型用电负荷情况



(b) 居民用户参与智能用电调控后典型用电负荷情况

图 2 典型用户的负荷转移削减情况

7 结束语

需求响应作为智能用电中极为重要的部分，面向居民用户需求响应方式研究备受关注。本文深入研究了居民用户需求响应方式的模型和实现流程，研究了用户与电力之间柔性负荷调控模型，实现基于用户与电网互动的需求响应方式。针对用户的典型负荷进行负荷特性分析和模型的构建，实现了用户用电与电网的双向互动，提升了电网服务在用户侧的延伸，拓展了电网服务手段、内容和渠道，使电网更加深入地了解用户的行为。通过合理需求响应方式下的智能控制策略应用、区域柔性负荷控制等手段，提高居民侧能源使用效率、降低电网峰时压力，实现了能源的协调控制，使电网的资产效率、服务效率得到提升，真正实现社会企业广泛参与、用电双向互动、互动形式多样、服务便捷高效的目标。

参考文献：

[1] 萧国泉, 王春, 张福伟. 电力负荷预测[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.

[2] 史文博. 地区电网负荷特性分析及短期负荷预测研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.

[3] 李扬, 王蓓蓓, 宋宏坤. 需求响应及其应用[J]. 电力需求侧管理, 2005, 7(6): 13-15.

[4] 张钦, 王锡凡, 付敏, 等. 需求响应视角下的智能电网[J]. 电力系

国家电网出版

统自动化, 2009, 33(17): 49-55.

[5] KIM J H, SHCHERBAKOVA A. Common failures of demand response[J]. Energy, 2011, 36(2): 873-880.

[6] 张志强. 基于电网侧的空调负荷特性分析及其调控措施研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2017.

[7] 蒋恩华. 中央空调系统节能措施分析[J]. 中国科技纵横, 2011(2): 351.

[8] AAZAMI R, AFLAKI K, HAGHIFAM M R. A demand response based solution for LMP management in power markets[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2011, 33(5): 1125-1132.

[9] FAHRIOGLU M, ALVARADO F. Using utility information to calibrate customer demand management behavior models[J]. IEEE Power Engineering Review, 2007, 21(4): 71.

人民邮电出版社出版

智能电网居民用户智能用电行为分析系统研究

张璐[1]，刘兰方[2]
（1. 北京锦绣大地电子商务有限公司，北京 100142；2. 北京国电通网络技术有限公司，北京 100070）

摘　要：分析居民用户智能用电行为可以为电网负荷预测提供数据依据，用户智能用电行为的分析可通过居民用户智能用电行为分析系统实现。系统的设计包括智能用电数据采集、云数据处理、用户行为分析 3 个主要模块，结合无线通信技术、云处理技术和 ASCF-Mine 挖掘算法，对各模块的设计和功能进行优化，并通过实验对比分析，验证了系统对用户智能用电行为分析的高准确率。

关键词：用电行为；数据采集；云数据处理；ASCF-Mine 挖掘算法

1　引言

调整居民用户的用电行为是智能电网智能化建设的一个重要内容和有效途径，既可以提高居民的用电效率，还可以提高电网的运行效率，从而实现居民用户和智能电网间的智能需求响应。但是，利用现有技术手段难以实现需求侧管理，有效引导和控制电网高峰时段负荷的增长来保证电网安全稳定的经济运行，成了智能电网智能化建设中需要着重解决的重要问题之一。智能电力终端可以帮助电网获得更加精细的居民用电数据，为居民用户提供智能用户行为分析系统，它可以为电网负荷预测提供数据依据，并调整电网运行状态和电价政策，使居民可以根据电网的用电通知调整用电行为，进而实现居民用电需求响应。本文旨在对居民用户智能用电行为分析系统进行研究，首先对居民用户智能用电行为分析系统进行模块化设计，明确各部分的分工，其次进行模块功能的设计，最后通过实验数据验证用户行为的分析效果。

2　居民用户智能用电行为分析系统

居民用户智能用电行为分析系统主要分为 3 个模块：智能用电数据采集模块、云数据处理模块和用户行为分析模块。智能用电数据采集模块主要完成家庭用户的用电量数据的收集。云数据处理模块使用并行 ETL（提取、转换和加载）、并行多维分析和并行数据挖掘来完成多变量和多维数据的存储和管理，为下一个用户的电力行为分析奠定基础。居民用户行为分析系统如图 1 所示。

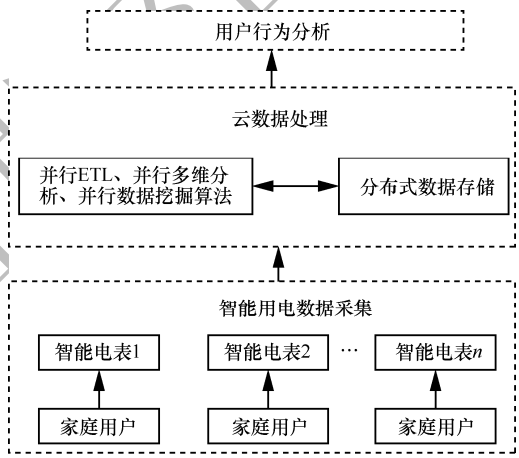


图 1 智能用电分析系统

3　用户用电数据的采集

系统使用智能电能采集器进行数据的采集，通过智能电能采集器实时采集家用电气终端的实时功耗数据和负载。自组网采用了 ZigBee 无线通信技术作为短距离通信的手段，实时地将采集到的数据传输给智能网关主站，并由网关主站通过网络上传至服务器，数据由服务器存储和处理。

数据采集模块架构如图 2 所示。

数据采集模块可对用户的总体和单个用电设备的用电数据进行采集，所采集的用电数据主要包括实时的功率数据、实时的用电能和用电时间数据、意外事件的记录。

为保证不同厂商生产的智能控制设备可以通过网络通信，系统采用 Modbus 协议，可兼容多种结构网

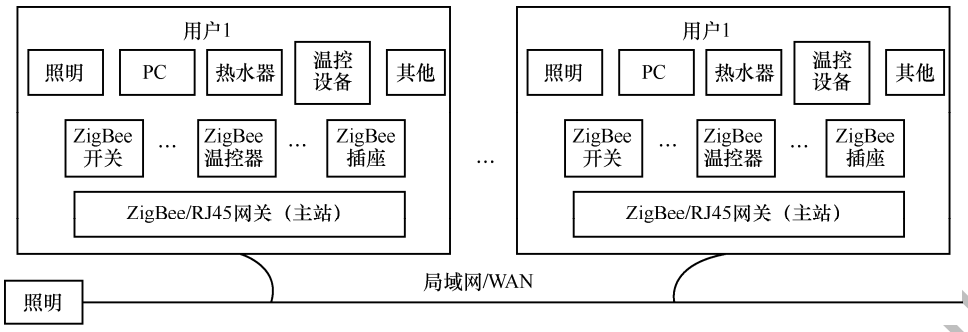


图 2　数据采集模块架构

络系统之间的智能控制设备连接成工业网络，以更好地进行集中监控。Modbus 协议采用 RTU 传输模式来提高数据的传输效率。系统中主站与服务器及主站与从站间都采用 UDP 进行数据传输，一个服务器可以同时与多个主站进行数据交换，一个主站也可以同时和多个从站进行数据交换。

系统中 Modbus RTU 信息帧为异步传输，采用主—从机的通信方式，通信由主机发起，从机接收数据之后进行响应，将响应信息返回主机，并在通信协议中加入 CRC-16 校验来保证所采集数据在传输过程中的完整性和正确性。主机的数据采集流程如图 3 所示。

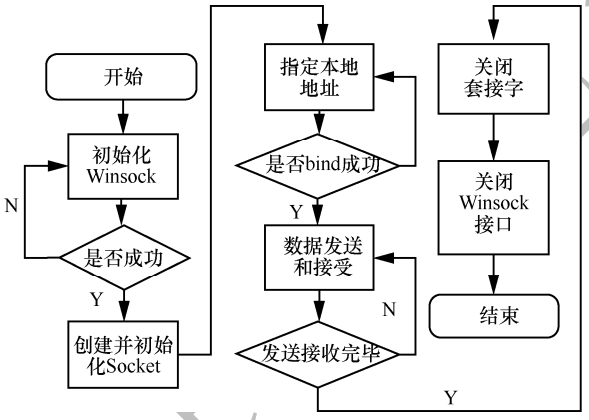


图 3　数据采集实现流程

4　云数据处理

云计算具有可异构计算资源、分布式存储、运用多种复杂算法的快速计算分析能力和易于动态扩展等优点，这对于处理智能电网所收集的资源繁多、类型丰富的数据信息是目前而言最有前景的解决方案，且其所采用的系统性能的横向扩展方式，更适合正处于蓬勃发展期的智能电网的战略需求。建设初期，接入站点较少，对系统的性能需求也较低，随着智能电网项目的全面铺开，云计算分析平台只需在现有硬件基础上增添相应的设备，就可以轻松实现扩展功能和性能的升级。

智能用电分析系统中的用户行为分析使用了基于融合上下文的用户行为过程模型和 ASCF-Mine 数据挖掘算法。ASCF-Mine 数据挖掘算法尝试在挖掘过程中将多个低级上下文融合为统一的高级上下文。通过智能电表数据采集可以获得各种低级环境。由于低级和高级上下文通常是相互关联的，因此可以通过低级事件推断出高级事件。同时既要充分考虑不同类型的上下文对行为过程的影响，还要考虑到用户对上下文融合结果的期望（面向用户）。 因此，融合形成的高级场景具有更明确的语义一致性和适用性，可以更广泛地应用于预测行为过程。

ASCF-Mine 挖掘算法针对居民用户智能用电行为分析系统的主要步骤为：找到所有可能的情景周期；将数据集分割成一个不重复情景集合；根据所分割的分割情景集合，将原始数据划分为子区间，使每个情景周期对应情景的用电数据；挖掘每个周期下的频繁用户用电行为过程；将所有情景周期所挖掘行为过程的结果聚合到一起，输出挖掘结果。ASCF-Mine 算法步骤如图 4 所示。

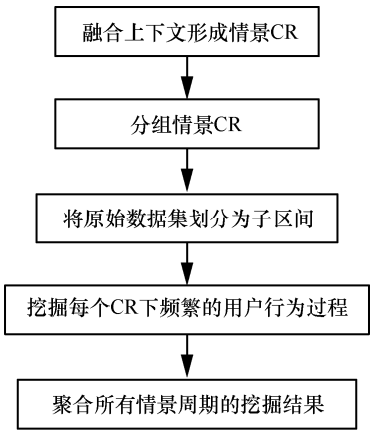


图 4　ASCF-Mine 算法步骤

5 ASCF-Mine 挖掘算法应用

利用 ASCF-Mine 挖掘算法挖掘某地区 1 000 个家庭实际数据集的用户行为过程。在该实验中，仅对单个上下文的 LDA 算法与 ASCF-Mine 挖掘算法进行比较，通过对比分析结果来分析 ASCF-Mine 挖掘算法融合上下文的用户行为后的行为序列挖掘结果。ASCF-Mine 算法和 LDA 算法之间的准确性对比分析如图 5 所示。实验结果表明，随着邻近用户数量 k 的增加（其他参数保持不变），两种算法的预测精度逐渐提高。当 k 值增大时，ASCF-Min 算法的准确度高于 LDA 算法的准确度。这主要是因为 k 值越大，所预测的行为过程也随之增多，提供给目标用户用于选择正确的行为过程的概率也就越大。基于融合上下文的 ASCF-Mine 算法的 CR 发现的频繁行为过程（基于支持）比 LDA 算法的概率上下文主题更具体。因此，ASCF-Mine 算法可以基于融合上下文有效地挖掘高级用户的行为过程。

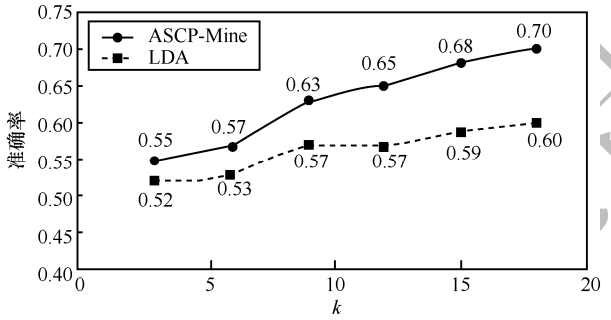


图 5　ASCF-Mine 算法与 LDA 算法的准确率对比

6 结束语

居民用户智能用电行为分析系统主要分为智能用电数据采集、云数据处理和用户行为分析 3 个模块。根据居民用户的分布状态，设计了数据采集模块架构，并确定了数据传输的流程，针对海量的数据，云数据处理模块采用了融合上下文的用户行为过程模型，并通过 ASCF-Mine 挖掘算法挖掘用户行为过程，实验表明，ASCF-Mine 挖掘算法在用户智能用电行为过程分析方面具有高准确率。

参考文献：

[1] 方大国. 国务院印发《促进大数据发展行动纲要》[J]. 造纸信息, 2015(12): 26.

[2] 庄绪强. 基于云计算技术的用户用电智能分析技术研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2016(2): 187-189.

[3] 陈东伟, 吴延超, 李伟杰, 等. 基于物联网的智能家居系统设计与实现[J]. 信息技术, 2014(5): 67-70.

[4] 甘泉, 胡桐逢. 蓝牙技术与无线供电技术在智能家居中的应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2015(3): 214-216.

[5] 李春燕, 许中, 马智远. 计及用户需求响应的分时电价优化模型[J]. 电力系统及其自动化学报, 2015, 27(3): 11-16.

[6] 朱文俊, 王毅, 罗敏. 面向海量用户用电特性感知的分布式聚类算法[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(12): 21-27.

[7] SONG Y, ZHOU G, ZHU Y. Present status and challenges of big data processing in smart grid[J]. Power System Technology, 2013, 37(4): 927-935.

[8] 傅军栋, 杨姚, 罗善江. 智能小区居民用电负荷特征权重分析[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(18): 41-45.

[9] WANG B B, HOBBS B F. A flexible ramping product: can it help real-time dispatch markets approach the stochastic dispatch ideal[J]. Electric Power Systems Research, 2014(109): 128-140.

[10] 李扬, 王蓓蓓, 李方兴. 灵活互动的智能用电展望与思考[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(17): 2-9.

[11] QU Z J, CHEN G. Big data compression processing and verification based on Hive for smart substation[J]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2015, 3(3): 440-446.

[12] 庄池杰, 张斌, 胡军, 等. 基于无监督学习的电力用户异常用电模式检测[J]. 电机工程学报, 2016, 36(2): 379-387.

[13] 陈勇. 基于大数据下的计算机网络专业设置探讨[J]. 信息与电脑, 2016(2): 216-218.

[14] 朱文俊, 王毅, 罗敏. 面向海量用户用电特性感知的分布式聚类算法[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(12): 21-27.

人民邮电出版社

智能会议室关键技术研究

陈振晟，伍泽军，邓文杰
（深圳创世纪科技有限公司，福建 宁德 355200）

摘　要：智能视频会议系统是一种集计算机、通信、中控主机、多媒体、图像、音响和灯光等技术于一体的会务智能化管理系统。系统将会议报到、发言、表决、摄像、音响、显示和网络等各自独立的子系统有机地连接成一体，由中央控制终端根据会议议程协调各子系统工作。为视频会议等提供最准确即时的信息和服务。系统利用数字及网络技术进行组网，将传输信号数字化，提高音视频质量与系统可靠性。同时降低运维难度，使设备操作更加简易。

关键词：智能化；视频会议室；关键技术

1　引言

互动式视频会议的出现，让国内的会议模式由以往的本地集中式会议，逐渐转变成异地多点分离式会议，这是一种更有效、更经济的会议方式。而随着信息传输技术的不断发展，视频会议室设备的信号传输不断地从传统的模拟信号向数字高清信号的方向升级。传输信号的转变不仅提升了音频视频的质量，而且在会议室的运营维护上也有了更好的发展方向，会议室的智能化就更显重要。这便要求会议室建设的提前规划设计。

2　智能会议系统

智能视频会议室是由拾音系统、扩音系统、显示系统、画面捕捉系统、视频会议系统和中央控制系统等多功能集成化的会议系统，是讨论、演讲、报告和演示的重要场所，一个完善的智能视频会议室，必须考虑专用的控制室，用于布置各系统设备。同时为方便操作人员了解会场情况，可考虑在控制室内设置可显示会场内画面的屏幕。

（1）数字会议讨论系统

数字会议讨论系统即：通过数字技术，通过网络系统处理和传输数字信号。不仅提升了音质，还简化了安装与操作。具有多功能、高保真、信号传输保密性高等特点。

（2）摄像跟踪系统

目前摄像跟踪功能主要通过联动的方式实现，联动即摄像机与麦克风间的联动，可快速将摄像机对准发言者，该系统可通过数字会议讨论系统扩展功能来实现，也可通过中央控制主机来实现，通过中央控制主机还可以通过触摸屏实时对摄像机与联动进行调整操作。

（3）中央控制主机

中央控制主机是智能会议室的核心识别，极大地方便了视频会议系统的控制与管理，将烦琐的系统操作步骤简化成为触控屏上的图标。中央控制主机能够将支持 RS232、RJ45、红外控制的电气设备控制功能集中到触摸控制屏上，使原先复杂的操作变得简易，只需简单培训即可操作。

（4）显示系统

本系统可清晰呈现包括计算机、远程视频与本地会议室各视频信号，目前主流产品包括激光投影仪、液晶电视、LED 等。

（5）音响扩声系统

扩音系统的设备主要根据会议室的面积大小、形状和功能来进行配置。该系统与会议室的装潢有密切关系，会议室的建声效果，墙面的吸音效果都会直接影响最终的扩声系统。因此需要在会议室装潢设计的基础进行搭建。

本系统包括主、副、补音箱，主、副功率发达器，数字音频矩阵等，新式的数字音频矩阵涵盖了传统的均衡器、反馈抑制器、调音台等设备的功能，并可进行编程，极大地简化了扩声系统的操作。

（6）视频会议系统

随着信息化时代的深入，人们对信息的交互从纸、

人民邮电出版社出版

书本、语音等发展到了多元化的信息交互方式，在需求的推动下出现了一种更高效、更经济的会议通信技术应运而生。视频会议系统（video conference system），包括软件视频会议系统和硬件视频会议系统，是指两个或两个以上不同地方的个人或群体，通过现有的各种通信传输媒介，将人物的静、动态图像、语音、文字和图片等多种资料分送到各个用户的计算机上，使得在地理上分散的用户可以共聚一处，通过图形、声音等多种方式交流信息，增加双方对内容的理解能力。目前视频会议逐步向着多网协作、高清化、开发化的方向发展着。

视频会议作为目前最先进的通信技术，只需借助互联网，即可实现高效高清的远程会议、办公，持续提升沟通效率、缩减企业差旅费用成本、提高管理成效等方面具有得天独厚的优势，部分取代商务出行，成为远程办公最新模式。

（7）信号处理系统

音视频信号源包括计算机信号、视频会议终端信号、摄像机信号、DVD 信号、会议讨论系统等。输出端包括投影仪、功率放大器、视频会议终端、液晶电视和无纸化系统等。信号处理系统是整个会议室音视频切换的枢纽。

视频信号目前多使用数字混合矩阵切换器对个输入及输出信号进行管理，板卡式的设计可满足不同接口的信号接入。

3 扩展系统

（1）无纸化会议系统

无纸化会议系统是使用基于网络的无纸化会议交互系统、现代通信技术、音频技术、视频技术和软件技术，通过文件的电子交换实现会议的无纸化。 其特征是：文件传输网络化、文件显示电子化、文件编辑智能化以及文件输入输出可控化。核心功能主要是实现文件分发、文件上传、文件同步演示、投票表决等功能，多基于安卓系统平台运行。平板电脑的无纸化会议系统使用应用场景比较广阔。主要使用移动终端在局域网内建立的会议交互场景应用，实现文件分发、会议签到、投票表决和呼叫服务功能。技术上主要利用会议传输要求的保密性，文件需要加密，转换成为自定义的格式浏览，防止文件泄露。文件同步技术主要依靠触屏轨迹跟踪技术和触屏轨迹仿真模拟技术实现，达到流量控制的目的。

（2）智能导播平台

一种目前适用于中小型会议室的智能导播平台，通过声音定位及人脸识别技术相结合，定位发言者从而实现摄像跟踪功能，该系统的发言位置更加灵活，摄像机前 180° 范围内中任意位置皆可定位。

（3）会议纪要录制

通过硬件支持，将会议中录制的声音转换为文字形式发送给各与会者，大大提高了会议记录的效率，告别人工速记。

4 结束语

会议室的智能化是大势所趋，中央控制主机作为会议室智能化的核心，目前还更多地在独立会议室使用，应更加深入地开发其很多功能，如远程控制、预约开启设备、在线监控多个会议室的设备情况、运行情况、运维记录、分析链路故障点等。

参考文献：

[1] 卢凯. 多媒体会议系统解决方案[J]. 城市建设理论研究, 2012(3).
[2] 胡细玲, 徐思. 论多媒体会议系统解决方案[J]. 软件, 2012, 33(10): 158-160.
[3] 黄开杰. 智能会议室环境下基于音频特征的多说话人识别与跟踪[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2017.

人民邮电出版社出版

智能网联无人机巡线系统设计

孙立 [1,2]，张恺 [1,2]，王静智 [1,2]
（1. 国网电子商务有限公司，北京 100053；2. 国网雄安金融科技集团，北京 100053）

摘　要：人工巡线方式风险高、效率低、人力资源消耗大，无人机巡线一直被看作代替人工巡线方式的最佳选择。当前阶段无人机协同巡线模式仅作为人工方式的补充，使用场景受限，同时续航时间、遥控距离、作业模式等多方面因素也限制了其在电力巡线领域的进一步发展。以无人机自主巡线与电力巡线大数据为核心，改装巡检车辆与无人机形成优势互补，部署车载控制中心为无人机飞行控制与数据处理提供支撑，同时基于云技术设计在线监控平台，为无人机电力巡线提供一个更加高效、智能、系统、可行的设计方案，是智能装备与电力大数据结合的产物。

关键词：无人机；巡检车改装；图像识别；大数据；云平台

1　引言

2012 年底，全国 35 千伏及以上架空输电线路总里程达到 102.1 万千米，截至 2017 年底，达到 183 万千米，增幅接近 80%。随着用电需求的提高以及特高压与能源互联网的发展，输电线路的运维面临着前所未有的挑战。当前输电线路巡检主要依赖人工巡线，作业效率低、强度高、风险大。2013 年起，电网单位尝试采用无人机辅助人工巡线的协同作业方式，对定点杆塔以及三跨线路进行巡检，借助无人机提供的高空视角弥补人眼及攀爬巡视的局限性[1]。无人机自主智能巡线是行业发展的方向。当前协同作业方式依旧沿袭了人工巡线的模式，没有将自动化与智能化引入无人机巡线中，也没能将作业人员从现场抽离。这一方面是因为没有成熟完善的解决方案，另一方面是因为受制于无人机续航及遥控方式的局限性[2]。

系统设计首先从实现自动化、智能化入手，以当前已具备的与无人机能够采集到的电力巡线大数据为基础，借助机器学习、图像识别等技术，为无人机智能路径规划、线路缺陷识别等提供支持；第二是配套上述功能的周边硬件部署以及弥补无人机固有缺陷的辅助措施，包括巡检车加装充电停机坪、地面站、控制中心等；第三是实现监管与数据记录的系统平台，提升流程化作业效率与大数据的互联互通。

2　系统方案概述

2.1　协同巡线模式的局限性

协同巡线采用“飞手+观察员”的作业模式，飞手负责对无人机飞行进行遥控，按照观察员要求的观测点进行悬停拍摄，观察员负责对屏幕中显示的画面进行识别，判断线路是否存在缺陷[3]。这种模式主要存在如下缺陷：“飞手+观察员”的模式以及普遍采用的手持遥控的操作方式限制了作业人员必须前往杆塔及线路脚下，没有规避严苛地理环境带来的风险；依赖于“飞手”以及“观察员”的经验，面对复杂的高压输电环境，手动操控以及视角的局限性容易造成无人机触线风险，人员主观定点观测也容易产生疏漏以及误判；无人机飞行计划申请以及巡线记录等沿用传统纸质化方式，流程冗余且实时性差，巡线数据不具备可积累性，造成数据价值流失。

2.2　系统结构及主要组成部分

综合上述缺陷以及实现智能网联无人机巡线的需求，构建系统架构，如图 1 所示，主要由巡检车控制中心、无人机及其荷载装备以及监控平台 3 个部分组成。

2.2.1　巡检车

改装巡检车辆成为现场控制中心，储能电池为无人机充换电供电；加装充换电停机坪，方便无人机起降与充换电，延长总体巡线里程；车载地面站取代手持遥控，扩大通信覆盖半径，远程监控无人机；部署控制中心计算机，负责数据处理与无人机飞行控制。

人民邮电出版社出版

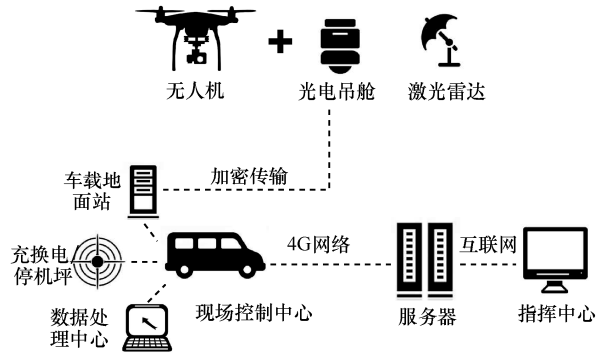


图 1　系统结构

2.2.2　无人机

无人机携带模块化采集装置，实时回传图像及位置信息；控制中心负责图像识别，根据本地存储的 GIS 信息与线路杆塔模型数据等为无人机提供智能路径规划飞行控制；根据缺陷特征数据库智能识别线路缺陷，取代人眼辨识；基于激光雷达的点云数据立体建模，提供巡线可视化。

2.2.3　监控平台

无人机巡线计划在线申请，巡线进度可在线监控；巡线记录实时上传存储，便于记录查询与后续检修；缺陷及故障特征数据化存储，促进机器学习效率，大幅提高识别精度。

3 个部分有机结合，覆盖传统巡线全部流程，现场作业人员以及监控中心全程监控，面对突发情况对无人机拥有最高级别的优先控制权。

2.3　数据及控制框架

数据信息及控制指令覆盖采集、传输、处理、存储、指令生成、监控等方面，如图 2 所示。

飞行控制是无人机的“大脑”，采集无人机姿态、位置、角速率、影像等信息，传送给车载控制中心，接受指令实现对无人机的控制；影像数据信息根据配置模块的不同，包括可见光影像、红外/紫外影像、激光雷达点云数据的多种组合；地面站链路模块是承载无人机与车载控制中心通信的桥梁；控制中心计算机作为数据处理的“心脏”全程负责图像识别与无人机的飞行控制；本地存储包括目标线路地理位置信息、避障及控制系统所需的杆塔线路模型和输电线路的电场分布模型等；车载通信模块实时上传巡线进度及信息记录，批量上传图像识别数据；监控系统全程监控巡线作业，提取进度及线路缺陷信息生成巡线日志，筛选有价值的图像识别信息作为进一步训练的数据素材。

3　关键功能实现及技术依赖

3.1　核心技术支撑

3.1.1　图像识别

图像识别是整个系统最关键的技术支撑之一，是线路缺陷识别、智能路径规划、飞行壁障等的基础。对图像数据进行去噪、平滑、变换、背景分割等预处理操作，加强图像重要特征，借助模式识别技术进行特征匹配，拥有逻辑回归、反向传递神经网络等算法保证预测识别的准确率，精确识别元件及缺陷。已有大量文献基于不同传感器数据对杆塔、绝缘子、引流线、线路弧垂、异物、覆冰等进行识别研究，并提出了相应的识别算法[4-10]。

3.1.2　飞行控制及数传电台

飞行控制是无人机飞行系统的核心，其控制稳定性与准确性直接影响采集数据的质量与飞行风险的管控，高精度传感器与良好的飞行系统设计尤为重要，例如高精度定位及差分 GPS 设备以及硬件 SoC（系统级芯片）化、软件模块化、系统终端化、通信网络化、数据可视化的设计理念。

相比于传统模拟制式与主流无线设备网络的跳频技术，基于 COFDM（信道编码的正交频分复用）多载波技术的数传电台具备良好的穿透能力，能适应城区、山地、建筑物等不能通视及有阻挡的环境，辐

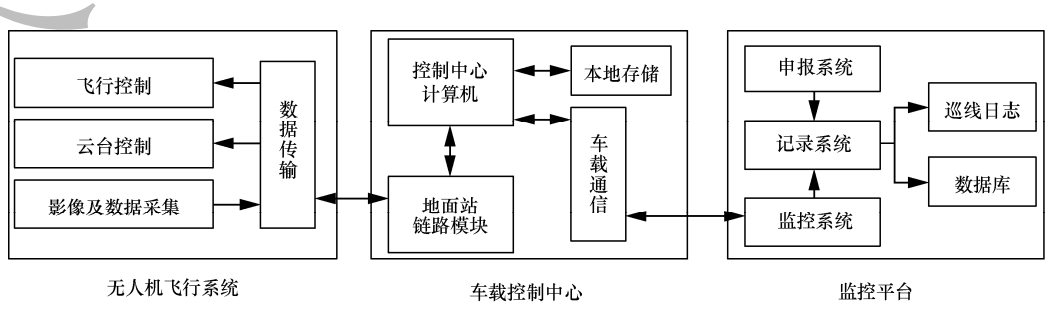


图 2　数据及控制框架

射半径根据设备功率最高可达 40 km，同时高时速时延能控制在百毫秒级别，能够满足实时性要求。

3.1.3 LiDAR 技术

激光探测与测量技术通过发射与接收离散脉冲光束，记录瞬时激光射到目标的时间，从而测出距离，测得的数据为数字表面模型的离散点，称为点云数据，点云数据含有空间三维信息和激光强度信息。集成集激光雷达扫描仪、GNSS（global navigation satellite system，全球导航卫星系统）和 IMU（inertial measurement unit，惯性测量装置）定位定姿系统及存储控制单元，实时、动态、海量采集高精度点云数据，通过配套地面站软件快速建立电力走廊立体模型，为巡线可视化提供技术支撑[11-12]。通过分类技术能够单独辨识建筑、植被、地形表面等信息，及时发现树障等安全距离不足的问题，同时为无人机避障提供支持。

3.1.4 物联网与云技术

智能网联技术引申自物联网，汇集目标传感器信息，实现网络平台上目标属性动态、静态信息的提取与有效利用[13]。无人机巡线中，基于云技术搭建监控平台，车载控制中心回传巡线现场作业信息，实现网联；梳理巡线记录，形成便于查询与维护的日志服务；汇集作业采集的影像信息，提供机器学习训练数据服务。

3.2 应用实现

3.2.1 智能路径规划

智能路径规划依赖于图像识别、飞行控制、数传电台技术以及本地数据存储，包含巡线路径及避障两方面。本地存储提供目标线路 GIS 信息、杆塔及线路模型信息、输电线路电场分布模型以及气象数据，无人机飞抵目标地点，根据图像识别判断杆塔及线路类型，结合本地模型数据的相对位置定位起始点，车载控制中心以最小飞行距离为目标优化飞行路径，全面覆盖巡检兴趣点并有效避障。

3.2.2 线路缺陷识别

线路缺陷识别依赖于图像识别与智能路径规划，智能路径规划全面覆盖兴趣点，多角度、多层次采集影像信息，车载控制中心对影像信息进行缺陷识别并记录。智能路径规划与线路缺陷识别中均用到图像识别，而且是同步处理，不同之处在于，前者中本地线路杆塔模型记录了兴趣点的相对位置，图像识别用于结合相对位置进行精准定位，同时，识别特征仅限于元件特征；后者则直接利用精准定位的影像数据进行缺陷特征识别。

3.2.3 巡线可视化

巡线可视化主要依赖于 LiDAR（light detection and ranging，激光探测与测量）技术，旨在提高监控可视化与缺陷检修可视化的能力。激光雷达产生的点云数据通过车载控制中心立体建模，结合 GIS 等信息实时绘制无人机巡线第三人称监控画面；反馈输电走廊植被、建筑、树障等安全距离是否合规；对检测出的线路缺陷在立体模型中以警示标志标出，提高后续检修定点效率，缩短施工准备周期。

3.2.4 数据资源化

数据资源化依赖于云技术进行数据管理，包括巡线流程化数据以及图像识别基础训练数据集。前者主要包括无人机飞行计划申请、巡线进度、巡线记录及结果等，替代纸质办公流程，便于查找与历史回溯；后者主要针对新型巡检目标以及新型缺陷特征，对图像识别系统进行机器学习训练，分为元件特征数据库与缺陷特征数据库，依靠机器学习高效精准的优势极快速提升效率与精度，摆脱人工经验不足及一致性差带来的问题。

3.3 模拟案例

模拟案例示意图如图 3 所示，无人机飞行计划在线申请，申请通过，作业人员驾驶巡检车抵达既定地点，选择平坦路边停车，释放无人机。无人机根据 GIS 导航到起始位置，识别杆塔类型，并对杆塔倾斜、地基等进行数据采集。根据本地存储的兴趣点相对位置进行绝对位置校准，由车载控制中心规划飞行路径，完成杆塔巡检。继续前行巡查线路，包括线路异物及弧垂。全程同步激光扫描生成点云数据，控制中心完成立体建模，并对缺陷位置进行可视化标定，巡线进度与记录数据实时反馈监控平台。巡检车沿路面与无人机同方向前行，无人机电力较低，返航充电，替换机组出航。

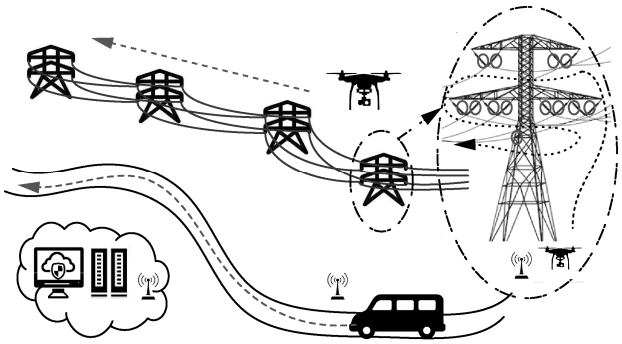


图 3 模拟案例示意图

4 结束语

无人机飞控、图像识别、机器学习等热门技术已发展多年，积累了众多成果，相比较而言，巡线领域图像识别的训练特征数据积累与图像采集规范制定相对滞后，限制了核心环节的具体应用，这也是无人机巡检结合计算机视觉与模式识别领域未来发展的重点方向。

本文将无人机巡线系统结合当前热门技术，提出了一个绿色、高效、智能的设计方案，从系统结构、数据及控制架构以及核心支撑技术与应用等方面全面分析了实现细节与可行性，是对当前协同巡线模式的有效替代，使无人机自主智能巡线成为可能；同时从无人机飞行计划申请、巡线记录及数据存储等方面简化流程，提供在线处理与特征数据库，提高办事效率，优化机器学习，具有广泛的应用前景。

参考文献：

[1] 吴立远, 毕建刚, 常文治, 等. 配网架空输电线路无人机综合巡检技术[J]. 中国电力, 2018, 51(1): 97-101.

[2] 杨杰, 邵帅, 王凯, 等. 多旋翼无人机在输电线路巡检中的应用局限及发展前景[J]. 电力与能源, 2018(2): 173-176.

[3] 付晶, 邵瑰玮, 高朝霞, 等. 输电线路无人机巡检系统现状分析[J]. 电网技术, 2015, 39(SI): 42-49.

[4] 吕明, 盛戈皞, 张卫东, 等. 无人飞行器巡检输电线路的杆塔和导线跟踪算法[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(9): 92-97.

[5] 金立军, 姚春羽, 闫书佳, 等. 基于航拍图像的输电线路异物识别[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2013, 41(2): 277-281.

[6] 陈斯雅, 王滨海, 盛戈皞, 等. 采用图像摄影的输电线路弧垂测量方法[J]. 高电压技术, 2011, 37(4): 904-909.

[7] 张烨, 冯玲, 穆靖宇, 等. 输电线路绝缘子覆冰厚度图像识别算法[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(21): 195-202.

[8] 王淼, 杜毅, 张忠瑞. 无人机辅助巡视及绝缘子缺陷图像识别研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2015(12): 1862-1869.

[9] 张文峰, 彭向阳, 陈锐民, 等. 基于无人机红外视频的输电线路发热缺陷智能诊断技术[J]. 电网技术, 2014, 38(5): 1334-1338.

[10] 彭向阳, 钟清, 饶章权, 等. 基于无人机紫外检测的输电线路电晕放电缺陷智能诊断技术[J]. 高电压技术, 2014, 40(8): 2292-2298.

[11] 陈驰, 彭向阳, 宋爽, 等. 大型无人机电力巡检 LiDAR 点云安全距离诊断方法[J]. 电网技术, 2017, 41(8): 2723-2730.

[12] 麦晓明, 陈驰, 彭向阳, 等. 输电线路走廊三维可视化技术和系统设计[J]. 中国电力, 2015, 48(2): 98-103.

[13] 胡永利, 孙艳丰, 尹宝才. 物联网信息感知与交互技术[J]. 计算机学报, 2012, 35(6): 1147-1163.

人民邮电出版社版

DBN 深度学习算法在反窃电系统中的应用研究

李丹丹，葛冰玉，黄文雯，谢磊
（国家电网有限公司信息通信分公司，北京 100761）

大摘要：

随着我国经济的快速发展，各行业的用电需求量不断增大，电力工业在国民经济的所有部门中扮演着提供基础动力的角色。而供电企业作为基础产业之一，在计算机及通信和网络技术方面都有了较快发展，广泛应用了自动化技术、信息技术等通信技术，但仍然存在很大问题。许多用电客户在利益的驱使下，利用电力设备及管理等方面的漏洞，使用多种方法实施窃电行为，造成十分巨大的经济损失。

而传统的反窃电手段一般都是围绕如何加强电能计量装置技术改造，但随着反窃电技术的提高，针对新技术的窃电技术也在不断更新，让人防不胜防。各电力企业公司根据多年的经验，针对不同的窃电手段形成的防范措施大都是硬件上的措施，且没有很好的软件系统的支持，使得管理效率较低，因此引入大数据平台来处理海量数据显得非常有必要。

深度学习目的是利用构建多层神经网络模型的方法来学习图像、文本、语音等数据的潜在特征，训练数据逐层进行传递。与传统的神经网络学习方法相比，深度学习算法的优势就在于单独训练各层神经网络，使得在训练效率和准确度上都有很大的提高。深度学习算法采用的是无监督学习方式，解决了传统神经网络易陷入局部极小值的问题。深度学习算法不仅被应用于预测领域，在分类问题上也有很好的效果，这也是将深度学习应用于反窃电问题的理论前提。

DBN（深度信念网络）模型最早是由 Hinton 等人于 2006 年首次提出的。DBN 是由多个 RBM（restricted Bltzmann machine，受限玻尔兹曼机）叠加在一起形成的。DBN 由可见层、多个隐藏层和输出层构成，可见层同时也是输入层。深度学习算法在语音识别、图像识别等诸多领域已经取得了显著的应用成果，但将深度学习算法应用到反窃电领域还没有先例。基于 DBN 算法的反窃电模型的设计思想是将处理过的数据分为训练数据集和测试数据集，利用训练数据集数据训练 DBN 模型，再用训练好的模型对测试数据集进行验证，得到该算法的分类准确性。

在实验过程中，对于去除如用户名、用户号、日期、逻辑地址等不相关因素的输入层，将当天用电量、峰值、谷值、累积用电量、峰值、谷值、当天气温峰值、气温谷值作为相关因素输入 DBN 模型当中。

实验结果显示，当隐含层节点数为 16 时，对于反窃电问题实验的分类准确性最高。接下来，考虑具有两层隐含层情况的 DBN 模型。该具有两层隐含层的 DBN 模型输入节点数为 8，第一层神经元个数为 16，然后将第二层神经元个数在 3~20 内变化。实验结果表明，当第二层隐含节点数为 8 时，分类准确度最好，因此，将 DBN 的第二个隐含层节点数设置为 8。

本文将 DBA 算法理论模型应用到反窃电的分类问题当中，最终确定了结构为输入层节点数为 6；隐含层层数为 2，其中第一层隐含层神经元个数为 16，第二层隐含层神经元个数为 8；输出层神经元个数为 1 的 DBN 反窃电模型结构。相较于其他数据挖掘算法，DBA 算法在反窃电问题上确实有其优势。

关键词：深度学习；反窃电；DBN

人民邮电出版社

北斗 RNSS 授时技术及其在智能电网雷电定位系统中的应用

张浩[1]，杨鸿珍[2]，邵炜平[2]，姚继明[1]
（1. 全球能源互联网研究院有限公司，江苏 南京 210003;
2. 国家电网公司浙江省电力公司，浙江 杭州 310007）

大摘要：

雷电定位系统是基于网络技术的大面积、全自动、实时监测雷电活动的计算机在线系统，是目前电力系统研究雷电活动最先进的手段。雷电定位系统一般同时使用两种基本方法实现综合定位，一种是定向法，另一种是时差法。

定向法的监测点可以探测到雷电的方向，并且达到一定的精度要求。理论上，联合两个监测点的数据，就可以实现雷电定位。受探测器精度的限制，定向法的定位误差较大。而且雷电发生的位置距离监测点越远，误差越大。

时差法的监测点可以记录下监测到雷电信号时的精确时间，通过对比多个监测点记录的监测到同一雷电信号的时间，实现雷电定位。这种方法和卫星定位以及基站 AGPS（assisted global positioning system，辅助全球卫星定位系统）定位方法在本质上是一样的，都是利用时差换算成距离差来实现定位。

从时差定位原理中不难看出，雷电定位系统时钟同步的精度直接决定了定位精度。如果按照北斗最低 100 ns 的授时精度计算，定位误差约为 30 m。相比定向法，时差法是效果更好的一种定位方法，其定位精度很大程度上取决于时钟同步的精度。随着北斗授时精度的不断提高，利用 RNSS（radio navigation satellite system，卫星无线电导航业务）授时技术可以极大地提高雷电定位系统时钟同步的精度，从而提升雷电定位系统的应用水平。

北斗授时技术主要分为 RDSS（radio determination satellite service，卫星无线电测定业务）单向授时、RDSS 双向授时和 RNSS 授时。从时间同步精度上来说，RNSS 授时的秒脉冲精度优于 23.7 ns，虽然不是最高的，但是完全可以满足电力应用需要。而且 RNSS 授时方式可进行连续授时，具有用户机功率小、用户数量无限制、保密性高等优点，是北斗授时技术应用于电力系统时最佳技术选择。

为了提高雷电定位系统的精度，本文研究了雷电定位和 RNSS 授时的基本原理，并介绍了一种基于北斗 RNSS 方式的授时终端。该终端主要由北斗授时模块、高精度温补晶振、FPGA（field programmable gate array，现场可编程门阵列）主控模块以及其他接口和显示模块构成。其中，FPGA 主控模块及其软件算法是授时终端设计的技术核心。

软件算法的主要设计思想是：北斗授时模块产生的 1 pps 脉冲信号经过卡尔曼滤波后，可以消除无卫星信号时脉冲信号异常带来的影响，并且提高 1 pps 信号的精度。晶振产生的信号经过计数器计数后，与 1 pps 信号进行频率比对，利用 PID（proportion integral differential）算法来决定对晶振频率进行加快或减慢的调整。通过 DAC（digital to analog converter，数字模拟转换器）得到调节电压，对压控温补晶振进行调整，使其振荡频率更接近 1 pps 信号的频率，实现驯钟。以基准秒脉冲为准确的整秒时刻，在整秒时刻之间以驯服后的 10 MHz 振荡器输出波形为更小的时间单位，实现时钟同步与跟随，生成 1 pps 信号、IRIG-B 信号以及用户钟面时间。

该授时终端的每个整秒时间采用经过卡尔曼滤波的秒脉冲，其误差优于 20 ns。在之后的 1 s 内，采用振荡器的输出为时间刻度计时，其 1 s 内的累计误差优于 10 ns，整体误差优于 30 s，对于雷电定位系统优于 100 ns 的精度要求，完全能够满足。即使在 8 s 内失去北斗卫星信号，仅利用本地守时，也能够保证时钟的误差在 100 ns 以内。

人民邮电出版社出版

仿真和测试的结果表明，通过使用本文的终端授时和守时技术，可以实现低成本、高精度的电力系统北斗 RNSS 授时，完全能够满足雷电定位系统的应用需求，对进一步提高雷电定位的精度具有积极意义。而雷电定位系统是所有电力业务中对时间同步要求最高的应用系统，北斗授时技术在雷电定位系统中的成功应用也标志着北斗技术理论上可以满足所有电力业务对时钟同步精度的要求。

关键词：北斗；RNSS；授时；智能电网；雷电定位；时间同步

人民邮电出版社出版

电费回收风险预测的大数据方法应用

赵雅迪，陈小峰，王宝亭
（北京国网信通埃森哲信息技术有限公司，北京 100032）

大摘要：

作为供电企业管理的最后一个环节，电费回收管理一直是供电企业的工作重点，是供电企业经营活动中重要的环节之一，对于电力企业的经营成果有着举足轻重的作用。长期以来，供电企业一直采用“先用电、后缴费”的市场规则，因此存在电费回收周期长、催费措施落后等隐患。这使得电费回收越来越成为困扰电力企业的一大问题。

随着市场竞争的加剧，一些电力客户采用不正当的手段盗窃电能或欠交、拒交电费，这种现象日趋严重。虽然供电企业不断加大收费力度，但全国范围内采用新型设备盗窃电能、拖欠电费的形势仍然十分严峻，这就使供电企业在进行正常生产、经营的同时，还要拿出大量的人力、物力来与不法客户作斗争，大大加重了供电企业的负担。目前主要原因 2 个。一是中低压电费回收压力逐渐加剧。近年来，随着城镇化水平提高，大量农村用户成为城镇用户，加上城市用电规模扩大，中低压用户数量急剧增加。同时，我国低压用户流动变化快、结构复杂，这些原因导致低压电费缴纳面临巨大困难。二是对于拖欠电费的行为无有效处理办法。目前，电力企业针对中低压用户缺乏有效的处罚手段，只能通过断电或收取少量违约金来进行制约，然而这些方法约束力低，导致拖欠电费频发，影响供电企业日常运作与发展。

为了解决此问题，有效降低电网公司的经营压力，各电力公司纷纷提出了各种行政管理手段和技术手段，建立了基于客户风险的电费回收策略。但是，电网企业对于客户欠费风险的预判能力不足，不能根据客户欠费风险等级提前采取具有针对性的防范措施，是目前防范电费回收风险面临的一大难题。为了有效地提高电力企业的风险防控能力，降低企业经营风险，高效准确的欠费风险预测尤为重要。随着信息技术的发展，国内开始使用数据挖掘技术分析海量用户的用电特征，并试图找出用户用电特征与欠费间的联系。比如在对用户欠费因素进行统计分析的基础上，运用逻辑回归模型，对影响高压用户电费回收风险的关键因素及其影响程度进行建模分析，验证了电费回收预测关键因素在加强资金管理、提高经济效益中的作用；或在分析了引起电力客户拖欠电费原因的基础上，深入挖掘分析客户缴费、欠费行为，设计了欠费风险识别相关的关键影响变量，运用决策树算法建立了客户欠费风险识别模型。

实际上售电收入的形成较为复杂，电力用户有不同类别且执行的电价标准不同。本文从低压居民客户基础数据、电费信息、历史缴费记录等方面对用户的历史数据进行了统计分析，深度挖掘了影响客户电费回收率的关键因素，构建了低压用户影响因素指标体系，基于逻辑回归算法构建了电费风险量化分析模型，预测客户的欠费风险等级，减少电费呆账、坏账的发生，为制定差异化措施及电费回收管理办法、提高电费回收率指标提供理论依据。

关键词：电费回收；逻辑回归算法；指标体系

人民邮电出版社出版

核电企业内容分发引擎的设计与应用

汪鹏，涂红兵，王云福
（深圳中广核工程设计有限公司，广东 深圳 518000）

大摘要：

随着第三代核电技术的逐步推广，在核电站建设过程中出现了海量结构化/非结构化内容媒体，主要包括工程信函、技术文件、竣工资料、工程照片及视频文档等。在企业内容媒体生产完成后，需要根据媒体内容进行内容的逐层分发与办理。核电企业通常都会将此类数据归档至企业内容管理平台中，通过企业内容分发平台进行统一的逐级分发、管理及利用。目前核电项目呈现多项目基地、多条技术路线特征，参与专业众多，涉及工程设计、设备制造、现场施工、调试运行等方方面面。同时业主、项目部、工程总部、设计院、分包院、承包商、供应商等每个公司或部门的分发方式与分发类型均存在差异。如何建立高通用性、高扩展性和高可靠性的分发引擎，成为企业内容分发平台面临的一大挑战。

内容媒体的生产涉及的发送方与接收方众多，且每对发送方/接收方的分发方式、分发类型和接收对象均不同，导致分发引擎需要维护大量的分发类型与分发方案来启动分发。随着项目的推进，这些分发方案随时可能发生变更。在进行内容分发引擎的设计时，需考虑不同公司互发的所有情况，直接采用硬编码的形式会给内容分发引擎带来巨大的复杂度，而且无法应对分发业务的频繁变更，通用性、可靠性和可扩展性比较差。

本文设计的内容分发引擎考虑了以下 3 点。

- 即时性：核电内容管理平台作为基础数据中心，存储了海量的核电内容媒体数据，需快速抓取出待分发的数据，保证引擎分发的即时性。
- 可扩展性：核电企业内容分发平台承载了多家参与方之间的分发业务，每家公司作为发送发和接收方时的分发和接收方式都不同，而且随着项目进度和质量的要求变化，分发方式可能发生变化，分发引擎必须能灵活地应对此种业务场景。
- 通用性：核电项目参与方众多，但设计类和工程类参与方模式大体一致，对于新的参与方的加入，分发引擎应做到“无缝衔接”，以满足新的参与方的分发业务需求。

本文提出的可配置化内容分发引擎方案，可以解决以上 3 个问题。将每对分发/接收对象之间的分发业务抽象成一条分发规则，放入分发规则库。对象之间的分发业务发生变更时，只需调整分发规则库中对应的分发规则即可，无需在代码层面做任何变更，满足了方案的可扩展性和通用性。结合“分而治之”的设计思想，提取出每条规则的发送方和接收方，设计了高效的分发类型计算算法，可在 $o(N)$的线性时间复杂度和空间复杂度内根据发送方、接收方和内容分发规则库，计算出内容媒体的分发类型。同时，利用数据库 DML（data manipulation language，数据操纵语言）触发器技术，设计了一种引擎前期的内容抓取机制，针对基础数据表做出监控，将变更信息记录到单独的索引模块，数据同步程序直接根据索引模块来实现数据同步，同步数据量大大降级，能够实时、快速地从这些海量基础数据中提取出待分发的数据，提高分发引擎的响应速度，做到了内容分发的即时性。

本文设计的内容分发引擎已经在中广核工程有限公司的核电企业内容管理平台中投产，投产至今，已经分发了内容媒体接近百万份，总的分发次数超过 2 000 万次，平均日分发次数达到两万余次。在生产环境中，内容分发引擎表现出极高的吞吐量，运行平稳，效果良好。本文设计的内容分发引擎不仅限于核电企业内容管理工作，其设计思想对于其他领域的核心内容分发工作也提供了指导与参考作用。

关键词：内容分发；动态配置；内容抓取；海量数据；即时性

人民邮电出版社出版

基于 Q3D 的宽带电力线通信信道建模

曹旺斌[1]，梁晓林[2]，杨蓉[1]
（1. 华北电力大学电气与电子工程学院，河北 保定 071003；
2. 河北大学电子信息工程学院，河北 保定 071002）

大摘要：

随着信息技术的发展，电力线通信技术（power line communication，PLC）在楼宇自动化、自动抄表、智能控制、物联网以及微网等方面的应用日益广泛，电力线通信业务变得更加多样化，宽带电力线通信（BPLC）在国内外受到了愈来愈广泛的关注。电力线信道模型对于特定线路电力线通信信道特性的掌握、电力线通信相关产品的性能指标确定以及通信编码算法的研究具有重要意义。电力线通信信道的建模一般需要经过确定单位长度的电阻、电感、电导和电容 4 个分布参数（RLGC）；根据分布参数计算特征阻抗、传输常数；根据特征阻抗、传输常数及线路长度建立传输方程；结合终端条件建立信道模型 4 个步骤。对于给定的传输线，由于单位长度的电阻、电感、电导和电容参数需要包含导体的横截面、半径、导体间的空间间隔以及绝缘材料的电气特性等信息，计算需要运用复杂的数学和电磁场相关知识，尤其对于宽带 PLC 的通信信道建模而言，计算复杂且准确度难以保证。在以往针对电力线信道的建模中，单位长度参数主要通过解析法获得，此方法需要利用电路原理进行分析，设计实验，测量出电路的一次参数。然后根据一次参数推导出二次参数，过程繁琐，要求建模人员具有扎实的专业知识和数学功底。

为能够快速、准确地建立宽带电力线通信信道模型，提出了一种基于 Q3D 的宽带电力线信道建模方法。Q3D，也称为 Quick3-D，用于针对电磁场仿真所需的电阻、电感、电导和电容的参数提取，主要用于 PCB 高频电路设计领域。Q3D 使用了先进的三维准静态电磁场求解器，核心算法为矩量法，同时采用了快速多极子算法进行加速。在求解的过程中，考虑到耦合效应、趋肤效应、介质损耗、金属损耗和频变属性的影响。在实践中发现，Q3D 软件对于电力线通信信道的仿真同样适用，不仅适用复杂形状的导体建模，准确度高，而且可以减少计算复杂度，显著简化 RLGC 参数的提取过程。

本文主要介绍了以 Q3D Extractor 提取参数为依据，建立宽带 PLC 信道模型的步骤和方法。首先利用 Q3D 软件提取电力线信道的单位长度参数 RLGC，然后根据提取的 RLGC 参数计算平行电缆的特征阻抗和传输常数，从而根据特征阻抗和传输常数计算出电力线信道的 ABCD 传输矩阵，最后根据 ABCD 矩阵求出信道传输函数和输入阻抗的幅频响应和相频响应。由于单位长度参数提取的重点是线缆结合模型的做图和各部分材料的分配，将复杂的数学问题转化成了几何作图问题，对建模人员数学知识的要求大大降低，本文所提建模方法能够适用于双导体、多导体及横截面结构复杂的多种 PLC 信道。论文最后利用所提方法，针对 3 mm×4 mm 三芯对称电缆建立了宽带电力线通信信道模型；利用网络分析仪分别测量了三芯对称电缆的 S 参数（散射参数），利用 S 参数计算出线缆传输函数和输入阻抗的幅频特性以及相频特性，并在 30 kHz~100 MHz 频带范围内将模型计算值与实测数据进行对比。结果表明，利用所提方法建立的模型计算值能够很好地描述实际测量结果，本文所提方法能够快速、准确地建立电力线宽带信道模型，对于电力线通信信道特性的研究以及工程实践具有重要意义。

关键词：电力线通信；宽带；信道模型；Q3D；三芯对称电缆

人民邮电出版社出版

基于 VLC 的室内定位技术研究

赵大明[1]，王欣[2]，姚国风[1]，唐新忠[1]
（1. 北京国电通网络技术有限公司，北京 100070；2. 国网物资有限公司，北京 100120）

大摘要：

随着无线技术的不断发展，各种基于定位的位置信息服务受到越来越多的重视。目前，应用最广泛的全球定位系统（global positioning system，GPS）已应用于车辆导航、工程测量、海洋救援、飞机导航、航空遥感等许多领域。但在人们活动较为频繁的商场、医院、办公楼等室内环境以及隧道、地下停车场等特殊环境，无线电信号被遮蔽，导致 GPS 等传统卫星定位服务无法正常使用。现代社会人们大部分的时间都在室内活动，并且随着城市化的发展，人们对室内定位的需求越来越迫切，室内定位系统（indoor position system，IPS）应运而生。基于 LED 绿色照明光源的 VLC（visible light communication，可见光通信）技术具有频谱宽、绿色节能、布设简单、成本低廉、深度覆盖、可与照明有机结合等突出优点，因此在室内无线定位领域具有良好的应用前景。

基于成像系统的室内定位系统方案将多个 LED 在提供照明的同时，通过 VLC 发送自己的位置 ID 信息，接收终端采用成像通信方式接收光信号，解调和分析各个像元接收到的光信号，并通过几何光学理论计算得到自身的位置信息。面向高精度的应用需求，优化定位算法，利用不同像元接收同一个光源的光强比例精确地测算出光源像斑的中心位置，优化定位精度。利用多光源联合定位，增加几何光学方程维数，减小误差。研究利用电子罗盘、陀螺仪等辅助设备辅助几何分析的定位方法，提供惯性定位算法，降低定位算法复杂度。利用摄像头成像和姿态角度传感器提供的高精度角度方位参量，在终端移动和姿态变化等条件下，选择可靠光源进行定位，增强在多变、脆弱条件下的可靠性。利用传感器的角度信息、成像中的相对位置信息降低几何分析中多维方程的未知数数目，提高算法可靠性。研究多灯定位模式自适应切换机制和精度调整定位技术，实现在多灯覆盖的范围内，接收终端自适应切换定位模式和算法，灵活选择单灯粗定位、双灯粗定位和多灯精确定位，实现精度调整定位智能化与自动化，缩短达到目标定位效果消耗的时间，提高在多灯交叠覆盖区域下定位的效率和精度。

引入数字图像处理手段和压缩感知理论联合辅助分析系统信道特性，针对高清晰度成像的二维数字图像，利用变换域分析、压缩感知理论等数字图像处理技术，对可见光传输信道进行快速、低复杂度的粗估计；研究终端二维成像的数字图像与信道畸变、多径效应和光路非直射影响的定量关系，基于数字图像处理、信号处理理论和信道容量理论，构建基于接收成像的信道粗估计模型，对信道的衰减和变化进行定量或半定量的评估。研究基于连续变化图像分析理论的像元切换机制，在终端空间位置和姿态不断变化的应用场景下，成像通信中接收信号的像元不断切换。引入连续变化图像分析理论，利用连续变化图像联合傅里叶分析结合马尔可夫随机过程模型，分析像元切换概率，优化像元切换算法，提升系统通信性能。在用消费级摄像头直接接收低速信息的系统中，需要从黑白间隔影像中恢复信息。针对响应时间全面优化的图像处理算法，保证在消费级移动平台上该系统方案可以正常运行，在图像传感器接收架构下研究基于图像处理的定位算法，通过处理光源在图像传感器上形成的像，以模式识别的手段还原出空间位置关系。基于成像通信的高精度定位算法在接收端成像阵列上定位出 LED 成像所在像元的精确坐标，实现了 2 cm 精度的定位功能。

关键词：可见光通信；室内定位；定位算法

人民邮电出版社出版

基于大数据分析的锅炉过量空气系数评估模型探讨

苏晓文[1]，刘超飞[2]，王智微[2]，张浩[2]
（1. 华能陕西发电有限公司，陕西 西安 710075；2. 西安热工研究院有限公司，陕西 西安 710032）

大摘要：

过量空气系数是锅炉运行的重要控制指标，直接影响锅炉运行的经济性。太大会增加排烟热损失、增加风机耗电率，太小则不能保证燃料完全燃烧，增加化学未完全燃烧损失。在锅炉运行中，主要根据尾部烟道的氧量变化通过风机开度的调整控制送风量，从而达到最佳过量空气系数。锅炉氧量的最佳值与燃料种类、燃烧方式及燃烧设备的实际状况都有很大的关系。火电厂为实现节能减排的目标，应该对过量空气系数的控制因素有一个准确的评估。

本文对某火电厂 350 MW 机组的进行数据分析。首先对历史数据进行必要的数据预处理，采用多元线性回归分析方法，使用 SPSS 软件对样本数据进行分析，找出相关系数，得出了锅炉负荷、送风机挡板开度、一次风机挡板开度 3 个影响因子与过量空气系数的关联关系，使用残差分析方法对模型进行了评价，分析总结了电厂在实际运行中对过量空气系数的控制情况。

在对某火电厂 350 MW 机组 2018 年 1—6 月半年间机组运行数据进行数据预处理，根据锅炉氧量计算过量空气系数后，得到数据样本，使用 SPSS 软件进行多元线性回归，得出的线性回归方程为：$y = 1.452 + 0.004\,28x_1 + 0.001\,27x_2 - 0.005\,79x_3$，其中，$y$ 表示锅炉过量空气系数；x_1 表示送风机开度；x_2 表示一次风机开度；x_3 表示省煤器入口给水流量。由线性回归方程可以看出，自变量送风机挡板开度、一次风机挡板开度都对因变量过量空气系数起正相关作用，这两个因变量的增大会引起过量空气系数的增大，但送风机开度对过量空气系数的影响系数明显更大一些，是一次风机开度的 3.4 倍。增加锅炉负荷，则过量空气系数会降低。

可以得到各个系数（常数、送风机挡板开度系数、一次风机挡板开度系数、给水流量系数）的显著性全都是 0。因此模型系数与样本之间的差异为纯机会变异，假设情况与真实情况一致。

大部分正误差维持在一个比较小的水平。这一结果证明了整个模型的残差整体集中在较小的区间内，多元线性拟合结果比较符合实际情况。

对预处理前的数据进行分析，得到的复相关值很小，过量空气系数影响因子之间的线性回归几乎没有相关性，结果与实际情况完全不符。因此对机组停机的过滤及数据稳定性的预处理是非常有必要的。

依据样本数据及锅炉设计资料计算过量空气系数偏差百分比，对锅炉负荷区间进行划分，99 的偏差在-10~0，可知在运行过程中绝大多数情况下氧量偏低。72 空气系数分布在-10~-5，大多数情况下锅炉氧量明显偏低。

机组在实际运行过程中过量空气系数在高负荷段全都低于设计值，在低负荷段少量高于设计值。实际的锅炉过量空气系数(氧量)最佳值往往偏离设计值，该最佳值可以通过传统的研究方法确定，也可以利用大数据的方法得到。

关键词：过量空气系数；大数据；多元线性回归；SPSS 软件

未经电子出版社出版

基于大数据下的电能替代潜力用户识别模型研究

夏怀健，张文，贾素锦，林海英，贺新房
（北京中电普华信息技术有限公司，北京 100085）

大摘要：

近年以来，污染问题引起全社会对环境保护的高度关注，为改善环境质量、调整能源消费结构，国家电网公司适时提出实施“以电代煤、以电代油、电从远方来”的发展战略，推动了电能替代产业的迅速发展。在此背景下，研究如何快速、高效地挖掘电能替代潜力将是未来电力营销市场分析决策的重要内容。本文依托于电能服务管理平台电能替代用户大数据，选取同种行业内用户 96 点负荷作为电能替代用户特征分析模型的特征指标，利用模糊聚类分析模型对同行业用户进行灵活分类，基于指标个数以及用户模糊聚类类别，设计基于粒子群优化的神经网络识别模型，以聚类分组的平均年替代电量作为识别用户的电能替代潜力值，实现对电力大用户电能替代潜力分类，以此评估用户的电能替代潜力。

由于用户的负荷随时间在不断发生变化，不同类型的用户具有不同的负荷特点，因此，该模型以同种行业内用户 96 点负荷功率作为电能替代用户特征分析模型的特征指标，利用模糊聚类分析模型对同行业用户进行灵活分类。采用同类离散度、中心离散度和平均隶属度对聚类有效性进行检验，并以上述指标为基础，定义综合有效性指标，确定用户聚类的数目。

BP（back propagation）神经网络是一种多层前向网络，具有高度自学和自适应能力，但存在收敛速度慢、易陷入局部最小值等缺点。粒子群优化算法具备在复杂、多峰值的数据中有效且迅速地寻找全局最优解的优点，可有效弥补 BP 神经网络的不足。模型以用户 96 点负荷功率作为输入，根据用户聚类类别数确定识别模型个数，并以聚类分组的平均年替代电量作为输出结果。

基于电能服务管理平台，选取若干电能替代实施用户，进行模糊 C 均值聚类，即可得到识别模型的输入个数。由于聚类分类中的用户均为电能替代已实施用户，基于电能服务管理平台项目统计，即可得知项目年替代电量，利用聚类用户的年替代电量，计算每个分组的平均年替代电量，作为识别用户的电能替代潜力值。

电能替代的潜力用户识别模型实现了用户电能替代潜力的有效预测，可将用户分成不同类别的潜力对象，有助于业务人员缩小筛选范围，有针对性地开展电能替代工作。

关键词：电能替代；特征分析；神经网络；潜力识别

人民邮电出版社出版

基于物联网的电网智能节能量测量方法及实现

张大品[1]，欧清海[2]，何业慎[3]，张翼英[4]
（1. 国网甘肃综合能源服务有限公司，甘肃 兰州 730070;
2. 北京国电通网络技术有限公司，北京 100070;
3. 深圳市国电科技通信有限公司，广东 深圳 518000;
4. 天津科技大学计算机科学与信息工程学院，天津 300457）

大摘要：

电网中输电线路功率损耗模型大致为：两个电容支路为导纳支路，电阻电感串联支路为线路阻抗回路。根据模型算出线路阻抗回路的功率损耗，导纳支路的损耗是电晕效应在绝缘子上产生的泄漏电流，正常运行时可以将其忽略。考虑边界条件为增容线路首端到末端，不包括送电端和受电端的隔离开关，可以得到三相电网节电力，并计算出节电量。由电网中的双绕组电力变压器功率损耗Γ型模型看出：导纳支路代表的是变压器的励磁支路，产生的是磁滞损耗和涡流损耗，也称为铁损。电阻电感支路为绕组电阻和电抗支路，产生铜损。变压器的有功损耗为铁损和铜损之和，以变压器本体为边界条件，得到节电力和节电量损耗。采用无功补偿装置提高功率因数，能减少流经线路或变压器的电流，进而降低电能损耗。电网无功补偿主要分为变电站集中补偿、配电变压器低压集中补偿、线路补偿和用户终端分散补偿 4 种，由于配电变压器低压侧集中补偿和用户终端分散补偿主要由用户投资及维护，不计在电网企业统计范围内，所以只统计变电站集中补偿和线路补偿两种方式。

首先利用电力系统综合分析程序 PSASP 建立参数模型，将网络中电流通过元件的有功损耗视为变压器等值电阻R_T和线路等值电阻R_L所产生的有功损耗。通过测量值修正参数模型并完成后台相关服务设置。同时，设计新的基于物联网的智能节能量测量装置，装置内置电力计量专用芯片 ATT7022B、P89V51RD2 单片机及通信模块。电力计量专用芯片 ATT7022B 负责实时采集测量点处的三相电压和电流以及频率、有功、无功及功率因数等数值，P89V51RD2 单片机处理完采集的数据后，利用通信模块将数据传至后台计算机完成节能量优化计算。负责数据采集的智能传感器安装于补偿装置出线处、线路中所有变压器的低压端、线路出线端及线路首段。智能电离监测装置与智能传感器结合，利用物联网感知数据、可靠传输和智能处理等，可以实现节能量参数的精确采集和计算。

根据节电量测评结果，实施电网节能工程项目改造后，年节约电量 26 772.37 万 kW·h，年节约电力 4.742 6 万 kW。按照国家发展和改革委员会 2010 年的统计数据，发电煤耗为 335 g/kW·h，则改造后一年的节电量折合节约煤量约为 89 687.439 5 t，按每度电价 0.5 元计算，则可节约资金 13 386.185 万元。

利用物联网技术，采用节能量计算的新算法，在甘肃电网节能量测量的实例中充分验证了本文测量节电量方法的有效性。在节能降损的大前提下，电力企业需要准确合理地测量节能量，本文利用节能量测量和验证技术通则对电网工程节能项目的节能量计算进行了总结，利用物联网技术，采用智能电力监测装置，精确采集测量数据，融合节能量的新算法，并以具体的实践为例介绍了测量节能量的过程和方法，验证了节能量量化的结果，可以为电力企业节能量计算提供一定的参考依据。

关键词：节能措施；节能量；测量与量化；电力物联网

人民邮电出版社出版

基于自动聚类模型的输电线路外力破坏预警预测

马大燕
（国网电子商务有限公司，北京 100053）

大摘要：

输电线路是电力系统的重要组成部分，具有点多、面广、线长、暴露在野外等特点，因此除了要遭受恶劣自然天气的侵袭外，还有很多外力破坏引起的线路跳闸、线路被迫停电等事故，而且事故发生概率呈上升趋势。外破事件已成为严重威胁架空输电线路安全稳定运行的主要因素。开展输电线路外破故障的预警预测，可显著提高供电可靠性，并将提升电网运行智能化水平。

本文将输电线路的外力破坏故障主要分为施工撞线、异物短路、异物缺陷 3 方面，本文采用一种基于自动聚类模型对该 3 类历史外破数据进行分析。首先，对输电线路外破历史数据进行抽取和清理，删除缺失或不规范的数据，根据线路及杆塔的 GIS（geographic information system，地理信息系统）信息定位坐标，并作为算法的输入。然后，采用 Canopy 算法初始化聚类中心，该算法包括两个阶段：阶段一，通过使用一个简单、快捷的距离计算方法把数据分为可重叠的子集，称为“Canopy”；阶段二，通过使用一个精准、严密的距离计算方法来计算出现在阶段一中同一个 Canopy 的所有数据向量的距离，由此即获得了 *K*-means 算法 *k* 个聚类中心的初始值。由于 *K*-means 算法对孤立点较为敏感，接下来采用优化的 *K*-means 算法对数据进行聚类，在一定程度上加快了 *K*-means 算法的收敛速度，提高了聚类分析的准确性和计算效率，以获得更加准确的输电线路外破数据分析结果。

以北京市区范围为例，对来自于 500 kV、220 kV、110 kV、不限时间的外力破坏数据采用上文提到的自动聚类算法进行处理，步骤如下。

步骤 1 进行非算法参数设置，对聚类数据进行筛选，包括时间（年月）、外力破坏类型（异物短路、施工碰线、异物缺陷）、电压等级（500 kV、220 kV、110 kV）等。

步骤 2 执行 Canopy 聚类算法，最终获得 *K*-means 算法的初始聚类中心点，该算法默认设定参数 T_1=5 000 m、T_2=2 000 m（$T_1>T_2$）。

步骤 3 执行 *K*-means 聚类算法，输入 *k* 个初始聚类中心点（来自步骤 2 的结果），*K*-means 聚类算法执行之后获得最终的聚类中心以及属于该聚类中心的样本点（外力破坏位置）。

施工碰线类型数据的聚类结果中，包含样本最多的聚类中心在王君一线路上 21 号杆塔附近，共 278 条数据，16 个聚类中心，聚类覆盖数据 144 条。

异物短路类型数据的聚类结果中，包含样本最多的聚类中心在阳福二线路上 14 号杆塔附近，共 272 条数据，18 个聚类中心，聚类覆盖数据 147 条。

异物缺陷类型数据的聚类结果中，包含样本最多的聚类中心在安左一线路上 76 号杆塔附近，共 267 条数据，18 个聚类中心，聚类覆盖数据 195 条。

经分析，证明了本文算法的准确性。此外，经计算（CPU Intel 双核主频 2.66 GHz，4 GB 内存），系统中前端显示外破数据和聚类分析结果整体不到 2 s，也证明了本文算法的高效性。通过该方法分析研究外力破坏情况时空分布特征，能够找出有效的防治措施，确保线路安全运行，为线路防外力破坏的预测预警工作提供了有力辅助。

关键词：外破；预警；自动聚类；Canopy；*K*-means；数据分析

中国电力出版社

考虑春节影响的售电量预测结果修正方法

刘建[1]，赵加奎[1]，陈雨泽[1]，方学民[2]，刘玉玺[1]，王树龙[1]，陈雁[1]，欧阳红[1]
（1. 国网信息通信产业集团，北京 100085；2. 国家电网公司，北京 100031）

大摘要：

售电量是供电企业的重要经济指标，反映了企业售电能力和综合管理水平，研究售电量数据并使其发挥应有的价值是电力公司十分关注的问题，特别是对未来售电量进行精准预测一直是公司的关注重点。近年来已有部分学者利用数据挖掘、大数据分析等方法对售电量的精准预测进行了研究，但预测精度仍不理想，原因包括未考虑不同区域历史售电量特征的差异、忽略了春节等中国传统节日对售电量的影响等。春节是中国的农历新年，其在公历中的日期每年有所不同，而春节期间又会出现工厂停产、春运以及大量务工人员返乡等情况，其日期的不同会对第一季度售电量产生较大的影响。因此，在售电量预测工作中考虑春节因素的影响是必不可少的。

本文提出了一种考虑春节因素的售电量预测结果修正方法。首先，计算历年第一季度各月全行业售电量占季比，利用占季比和第一季度每月 1 日距当年春节的天数建立函数关系。以距春节天数为输入，占季比为输出，采用最小二乘法进行函数参数拟合，利用得到的函数关系，以预测年春节日期计算预测年 1—3 月份各省公司全行业售电量占季比，进而根据预测年占季比及春节因素调整前的预测年第一季度售电量预测值得到春节因素调整后的 1—3 月份售电量预测值。

根据各分行业售电量占季比与第一季度每月 1 日距当年春节的天数，同样建立分行业售电量占季比与春节日期的函数关系。计算函数拟合可决系数，如果可决系数小于 0.5，则认为该省公司该行业 1—3 月份售电量受春节因素影响不大，不对售电量进行调整；如果可决系数大于 0.5，利用得到的函数关系，以预测年春节日期为输入计算预测年 1—3 月份分行业售电量占季比预测值，根据预测占季比以及春节因素调整前预测年 1—3 月份分行业售电量预测值计算得出春节因素调整后的省公司分行业售电量预测值，根据春节因素调整后的全行业售电量预测值归一化后得到分行业最终预测结果。

本文采用 2010—2014 年全国网 27 个省公司全行业及各分行业历史售电量数据，2015 年 1—3 月份全国网 27 个省公司全行业、各分行业售电量预测值以及 2015 年及其之前 5 年春节日期为原始数据。按照本文提出的售电量预测结果修正方法，先计算各省公司 2010—2014 年 1—3 月全行业售电量占季比，并利用 2010—2014 年第一季度每月 1 日距春节天数数据进行函数拟合，结合 2015 年 1—3 月 1 日距春节天数得到各省 2015 年 1—3 月全行业售电量占季比预测值。再根据春节因素调整前的 2015 年 1—3 月各省公司全行业售电量预测值计算得到春节因素调整后的 2015 年 1—3 月全行业售电量预测值。通过计算，根据春节因素调整前 2015 年 1—3 月全国网全行业售电量预测平均误差为 6.87，而调整后为 2.90，下降了 3.97。

相似地，再利用全国网 27 个省公司 2010—2014 年 1—3 月各分行业历史售电量占季比，结合春节日期进行函数拟合，并计算得到春节因素调整后的 2015 年 1—3 月各分行业售电量预测值。通过计算，分行业中建筑业和工业平均误差下降较多，分别降低了 10.76 和 4.48，原因是建筑业和工业在春节期间停工、停产现象较为普遍，因此其售电量受春节影响较大。而第三产业各行业春节休假普遍为一周左右，跨度较短，因此其售电量受春节影响较小。

此外，再利用本文提出的售电量预测调整方法对 2016 年第一季度各月售电量预测值进行调整。根据春节因素调整后的全国网全行业 1—3 月售电量预测误差分别为 2.52、0.56、0.63，平均误差为 1.24，预测误

人民邮电出版社出版

差较小。

通过对 2015 年全国网及 27 个省公司考虑春节因素的第一季度售电量预测结果调整表明，考虑春节因素影响的售电量预测调整方法效果良好，大大降低了第一季度售电量预测的误差，提高了全国网及各省公司的售电量预测准确率，推进了基于影响因素的售电量预测工作发展，能够更好地支撑公司经营决策和营销管理等业务，对促使售电量实现持续增长、推动电力市场的发展具有非常重要的意义。

关键词：售电量；春节；回归分析；最小二乘法

人民邮电出版社出版

面向电力业务的“IP+光”网络协同统一控制技术

王东山[1]，马跃[2]，李艳[1]，高建[1]，尹志斌[1]
（1. 北京智芯微电子科技有限公司，北京 102200；2. 国网冀北电力有限公司，北京 100053）

大摘要：

能源互联网发展的新趋势下，电力信息通信新业务日益多样化和复杂化，海量终端接入、多业务差异化处理以及电网数据广域传输对传统的电力 IP 数据网和光网络提出了更高的要求。在当前电力通信网络架构中，基于分组交换的 IP 数据网和基于电路交换的光传输网的交换机制和组网模式有本质不同。这导致电力 IP 数据网与光网络之间相对独立，而 IP 数据网需要光网络提供大容量的传输通道，光网络也需要 IP 数据网充分高效地利用其网络资源实现对业务的高实时性和高灵活性。为了支持电网端到端数据业务的动态按需建立和灵活资源调度，光传输网和 IP 数据网的互通与融合成为亟待解决的问题。为此，本文提出了一种面向电力业务的 IP 与光网络统一控制架构以及业务协同控制机制，以实现电力 IP 网络与光网络的高效协同，并在 IP 与光网络统一控制架构下，基于 OpenFlow 协议设计了 IP 网络与光网络的统一控制交互机制。

“IP+光”网络的统一集中控制架构主要由包含 IP 层网络和光传送网的底层数据平面、统一控制器和应用平面组成，并且控制器通过北向可编程应用接口提供应用业务服务，并通过南向接口与底层数据平面进行交互。基于 OpenFlow 的 IP 与光传送网统一控制的网络架构中，底层数据平面采用光传送网承载 IP 业务的方式，控制层为基于 OpenFlow 协议的统一控制器。统一控制器负责为业务连接请求进行 IP 路由和光通路的控制，IP 资源及传输资源的统一调度和控制。统一控制器从 IP 路由器与光交换机实时采集各种节点和链路状态信息、结合业务连接的需求，实现路由计算和控制策略制定，为业务连接请求分配资源提供服务。

基于 OpenFlow 的“IP+光”网络主要通过统一的流表机制来实现对 IP 层与光层网络的集中控制。因此需要分别对 IP 层与光层定义不同粒度的流表，由控制器通过 IP 层交换流表和光层交换流表的协同汇聚映射，以实现“IP+光”的高效统一控制。通过 OpenFlow 定义的两种流表（IP 层流表和光层流表），控制器根据光网络的交换粒度将一条波长级别或子波长级别的光通道视作一条业务流，并根据 IP 层业务流的来源和去向，结合业务流对带宽的需求和优先级进行 IP 业务流聚合，以便于通过光通道传输。此外，统一控制器支持 OpenFlow 节点间的信号过程引进确认消息，光节点根据流条目自动完成本地配置后能自动通知统一控制平台一个确认消息。统一控制平台收集了足够的确认消息后再插入流条目到原节点中，使光层粒度信息传输。

本文针对软件定义的“IP+光”网络协同统一控制技术进行仿真分析。仿真环境采用 NS2 网络仿真软件构建，网络结构参照典型的 NSFnet 的拓扑，网络规模为包含 32 个节点和 41 条光链路的电力 IP 与光网络。仿真结果表明，本文机制的平均时延小于传统机制的平均时延。这是因为业务连接请求的数量和光网络的规模增大，统一协同控制机制的能够支持业务连接的快速开通，随着涉及的节点数增多，实时性优势更为明显，因此能够更好地支撑智能电网通信业务。

关键词：智能电网；IP 与光网络；协同统一控制；软件定义网络；OpenFlow

人民邮电出版社出版

面向量子密钥应用的电力业务重要度评价方法

李国春[1]，张素香[1]，邓伟[2]，于卓智[2]，张叶峰[2]，朱玉坤[2]
（1. 国网电力信息通信有限公司，北京 100761；2. 北京国电通网络技术有限公司，北京 100070）

大摘要：

随着电网规模的壮大和系统复杂性的增加，电网对电力通信网业务传输的安全性提出更严格的要求。电力系统二次防护体系中，传统加密装置使用对称加密算法对通信数据进行加、解密处理。量子密钥拥有极高的安全性，将量子密钥运用于电力通信网加密装置能够极大提高业务传输的安全性。现有量子密钥分配设备产生的密钥资源有限，难以保证全部电力业务数据一次一密的加密传输。因此，需要通过建立合适的业务重要度评价方法，优先保证重要业务的保密传输。

电力系统业务具有清晰的业务性能指标，对时延、带宽、安全性等要求都有着明确的要求。为此，本文提出一种面向量子密钥应用的电力业务重要度评价方法，通过各个业务对通信网客观性能指标要求建立业务相对重要度矩阵。以业务相对重要度矩阵计算得出合理的重要度评价，为开展电力通信业务的量子密钥应用策略研究奠定基础，促进电网运营稳定性和信息安全等级的提升。

由于业务的重要程度不同，为了量化各个业务的重要程度，引入电力业务重要度作为指标。攻击网络中节点或边对承载业务的影响不能仅使用业务的数量表示，不同的业务有着不同的重要度，需要建立合适的电力业务重要度评估方法评估各类业务。使用合适的业务重要度以及统计得到的业务数量才能定量表示受攻击后对电力通信网整体的影响。现有的电力通信网业务重要度评价方法以专家主观评分为主，不同专家对相同业务会有着不一样的重要度考量依据，这些主观因素将影响最终的计算结果。

电力系统中不同的业务对同一种性能指标有一定差异性，性能指标能直观体现业务对电力通信网传输的要求，如时延、误码率等。对性能指标越严苛的业务越重要。本文将部分性能指标定义为特征性能指标，这些指标能够客观反映出业务的重要程度。接着使用性能指标替代了专家打分，量化业务在指标上的差异性，计算得到最终的业务重要度。

本文选取部分电力业务进行重要度计算以及排序，使用基于传输指标要求的业务重要度评估算法得到的各个业务的重要度排序，结合实际情况验证电力业务重要度评价方法的合理性。

在电力业务重要性评价中，各个特征指标的要求是客观定量完备的，不会随着个人的主观意识产生变化，使用客观的特征指标能够保证业务重要度的准确性。实例分析中得到的业务重要度切合实际，验证了重要度计算方法的合理性。使用合理的电力业务重要度评价结果，选择重要的电力业务进行量子加密通信以节省有限的密钥资源，建立量子通信背景下不同量子密钥应用场景，为电网的稳定、安全运行以及后续量子密钥应用策略研究提供一定理论基础。

关键词：电力通信网；电力系统二次防护体系；量子密钥；业务重要度评价

人民邮电出版社出版

面向移动网络环境的智能协同蜜网设计与性能分析

陈利跃[1]，倪阳旦[1]，孔晓昀[1]，周升[1]，黄慧[2]，郑星[3]
（1. 国网浙江省电力有限公司，浙江 杭州 310007;
2. 国网浙江省电力公司丽水供电公司，浙江 丽水 323000;
3. 国网浙江省电力公司衢州供电公司，浙江 衢州 324000）

大摘要：

蜜网作为一个分布式部署的多蜜罐系统，在引诱攻击者、获取攻击行为等方面具有单蜜罐系统不可比拟的优势，然而现有蜜网存在许多缺陷，首先它们对真实系统的服务或功能模仿逼真度不高而易受特征标识攻击；其次它们出/入流量控制机制不能阻止恶意流量在蜜网内部传播；另外，它们也不能支持跨低交互型蜜罐和高交互型蜜罐无缝间连接动态切换。现有蜜网却无法有效利用低交互型蜜罐和高交互型蜜罐各自优势，更无法适应移动网络环境需求：首先，在传统蜜网中，蜜罐常部署在有限几个固定网络节点，无法对无网不入的移动攻击流量实施无遗漏的捕获；其次，传统蜜网仅能对连接持续时间长、连接蜜罐对象固定的攻击流量进行特征提取，而无法有效地监测和捕获移动游牧式或大量短时攻击流量。这些造成现有蜜网在移动环境下的攻击行为特征捕获效率低下。

本文针对移动网络环境下攻击检测面临的技术挑战，基于 SDN 技术在网络全局视图、全网域集中控制等方面具有的优势，设计了一种新的蜜网系统，即 ic-Honeynet。该蜜网系统包含逆向代理模块和蜜网控制器，其中连接管理引擎是逆向代理模块的核心组成。该蜜网系统最大的优势在于它有效解决了现有蜜网面临的 3 个棘手问题，即如何避免蜜罐特征标识攻击、如何遏制恶意流量网内传播以及如何支持连接在蜜罐间无缝切换。

为了更好地监测移动网络环境下输入蜜网的攻击流量和蜜网内被攻陷蜜罐产生的恶意流量，设计了一种基于攻击进展状态的自适应连接管理机制。该机制运行在连接管理引擎，它的核心在于 3 种连接管理操作模式，即透明模式、多播模式和中继模式。这些模式的主要任务在于：如何高效地将攻击者的恶意流量分发给相关蜜罐，并从众多蜜罐发出的攻击响应中优选最佳一个作为攻击者访问请求的响应。

ic-Honeynet 充分利用了 SDN 高度可编程性，由其连接管理引擎对输入分组进行分类，并给每类分组添加上相应的标签。依据这些不同标签，SDN 控制器采取不同的方式处理这些分组。

搭建了一个该蜜网系统的实验环境，从系统吞吐量、响应时延、连接处理能力 3 个指标角度进行了评估。实验结果表明，该蜜网系统的吞吐量近乎线速，高达 8.23 Gbit/s；响应时延额外增加很小，仅在 0.5～1.2 ms 区间变化；连接处理能力也很强，可高达 1 473 个连接/s。

与传统蜜网系统相比，本文提出的蜜网系统将具有如下优势：该系统能允许攻击者访问多个脆弱性服务，从而诱导它与多个蜜罐产生更多的、更深入的交互，并让网络管理者可以收集攻击者更多的恶意行为数据；通过动态选择最优攻击响应，该系统可以减轻特征标识攻击带来的影响；SDN 控制器能监控全网域内的蜜罐，能有效发现蜜网内出现的任何异常行为，如通过监控蜜罐间的连接尝试次数等，这样就能事先阻止恶意流量在网络内的肆意传播。

关键词：蜜罐；蜜网；移动网络；软件定义网络；逆向连接代理

人民邮电出版社出版

面向智能化变电站的光网络信令安全优化

赵宇皓[1]，郝晓光[1]，耿少博[2]，罗蓬[1]，周坤[3]，甄家林[3]，毛玉荣[3]
（1.国网河北省电力有限公司电力科学研究院，河北 石家庄 050021;
2. 国网河北省电力有限公司，河北 石家庄 050022;
3. 武汉凯默电气有限公司，湖北 武汉 430223）

大摘要：

能源互联网的发展、能源与信息通信深度融合，将引领以智能化变电站为核心的能源传输、能源转换和能源控制产生巨大的革新。智能化变电站能源互联新业务的稳步推进对变电站内光通信网络的安全性要求日益提高。为了解决该问题，本文首先对智能变电站环境下光网络所面临的通信安全挑战进行了分析，分析得出，由于电力光网络中信令的传送要经过多个中间节点，光网络信令协议的开放性在一定程度上会增加其受到窃听攻击、阻塞攻击、消息篡改、重放攻击和业务量分析等网络攻击的安全风险。

为此，本文引入了改进的数字签名和消息反馈方法，同时运用 PKI（public key infrastructure，PKI）密钥策略，提出并设计了一种基于增强 RSVP-TE 的光网络信令安全的优化技术。PKI 秘钥策略主要分为密钥生成、密钥分发和密钥更新 3 个部分。RSVP-TE 信令协议因其特有的技术优势，被广泛运用各厂商的光网络技术方案，本文基于增强的 RSVP-TE 信令协议，引入了可信连接的思想，在信令交互过程中，结合攻击预防和入侵检测的原理，对 RSVP-TE 消息中的固定参数进行数字签名保护，使用消息反馈等安全机制对可变参数进行恶意行为检测。安全度为安全信令机制的首要关键性能指标，本文所提出的安全信令机制主要针对完整性攻击、内部攻击、重放攻击和伪造消息 4 个方面进行安全防护。复杂度是考量光网络信令机制的另一个关键指标。在协议复杂度方面，本文对信令消息进行轻量级的安全性扩展。在时间复杂度方面，由于引入了攻击检测与加解密处理，虽然信令的安全处理时延会略有增加，但对于安全等级要求较高的光网络，该时间复杂度在可接受范围内。光网络信令优化技术面向智能化变电站业务，充分利用电力光网络现有的信令协议进行扩展加强，是一种轻量级的安全信令机制以建立面向电力业务的端到端可信连接。

为了验证上述光网络信令安全交互技术，本文以支撑智能变电站业务的光网络作为典型应用场景，从阻塞率、业务连接建立时延两个方面，分别采用本文机制（安全信令）与传统机制（非安全信令）进行仿真评估。仿真结果表明，本文所提出的信令安全优化方法相比于传统机制：在相同波长与业务请求数量下，连接阻塞率能够有所优化；在相同网络攻击强度下，能更有效地防范安全攻击所引发的业务连接阻塞。因此，与传统信令机制相比，本文所提的机制能够有效增强电力光网络对智能变电站通信业务安全交互的支持能力，实现了电力光网络端到端的可信连接，优化其面向能源互联业务承载能力。

当前光网络信令安全的研究主要集中于单域光网络，而采用分布式结构的多域光网络必须考虑域内与域间的信令安全问题。此外，随着基于软件定义网络（SDN）思想的新型智能光网络的兴起，软件定义光网络与传统光网络的差异很大，因此软件定义光网络的安全信令技术作为未来重点方向之一，有待进一步深入研究。

关键词：智能电网；电力光网络；安全信令；可信连接

人民邮电出版社出版

区块链分布式技术在电力需求侧响应管理中的应用

任昊文[1]，杨雅琪[2]
（1. 鼎信信息科技有限责任公司，广东 广州 510000;
2. 广州致讯信息科技有限责任公司，广东 广州 510000）

大摘要：

本文提出了分散式区块链机制的理论，该理论结合分布式能源消费者需求分析，为市场中的所有利益相关者（包括电力零售商等）提供了透明、安全、可靠、及时灵活的分布式系统，提出将区块链分布式技术用在智能电网环境中管理需求响应计划的方法。该方法基于区块链的分布式分类记账防篡改的技术，存储从物联网智能计量设备收集的能量消耗信息，以编程方式定义每个消费者级别自我执行智能合约，保障交易的灵活性。区块链分布式技术提供相关奖励或惩罚以平衡能源需求与电网能源生产的规则。基于共识的验证将用于检验需求响应计划，并为灵活的供应商提供适当的财务结算方式。

首先，区块链技术支撑动态电力 P2P 交易。智能电网采用区块链技术的潜在好处是支持去中心化的 P2P 能源的直接交易，交易的同时能保证用户的安全。以 PriWatt 系统为例，介绍去中心化和 P2P 交易系统，该系统支持用户自建的太阳能发电、充电桩等资产售电并有效监管和督促其执行能源服务商的合同；允许消费者和生产者在基于点对点区块链的网络中交换能量，电能的需求和生产通过配电系统进行匹配；允许动态协商能源价格，在基于动态电能价格的需求响应系统中提出协商申请。基于预测的电能“生产/需求”以及电能交易区内的用户按需提供负载转移的意愿迭代计算出动态电价。

其次，区块链加密共识机制支撑参与者的互动服务。与其他基于区块链的系统一样，系统的安全性和信任是通过加密和共识机制权益证明（proof of stake，PoS）建立的。不同于其他区块链系统大多采用工作量证明（proof of work，PoW）作为共识机制，基于区块链的供需互动服务采用的是 PoS 机制。基于 PoS 机制的系统相较于基于 PoW 的系统更加节能，与比特币等 PoW 机制的加密货币相比，采用 PoS 机制的加密货币对硬件基本上没有过高要求，适合在广大用户群中推广。在 PoS 机制中，参与者持有股份用于确定网络中一个节点将在区块链系统中发起下一个电力交易的可能性，同时挖掘和验证 DR 中涉及的所有电力交易以及相关财务结算。用于挖掘下一个有效区块并验证相关联交易/服务的 PoS 算法可以扩展到 DR 的特定情况，以提高 DR 程序和电网操作可靠性。网格的每个设备节点可能扮演电力交易验证者的角色，并且可能是下一个有效区块的矿工。每个验证人应该拥有 DR 电力网络中的一些股份，比如根据用户之前通过响应 DR 管理所得的奖励积分，可用作该区块有效性的保证。

但区块链技术在需求侧的应用仍存在许多局限性与问题。根据中国电力行业的实际情况，需要提高与需求响应相匹配的现行价格和激励政策。在区块链技术发展的早期阶段，当参与实体数量较少时，超过 51% 的算力容易满足，从而造成风险。而且，由于目前电力公司的信息系统大多与外界隔离，很难让其他企业在短时间内获得系统开发权。同时，除了技术问题外，在参与电网辅助服务时，需求方将受到很大限制。DR 将受到实际运营中的许多其他因素的影响，例如提供 DR 服务的高成本和低利润的矛盾，该系统很难支持个人用户的参与。

区块链技术有可能为电网电力交易提供颠覆性的创新方法，但目前电力系统运用该技术仍然存在风险与局限，仍然需要进一步的研究与试验。

关键词：区块链分布式技术；需求侧响应；智能电网

人民邮电出版社出版

通道不对称时延对继电保护可靠性影响的量化分析

高会生，沈青
（华北电力大学电子与通信工程系，河北 保定 071003）

大摘要：

线路电流差动保护操作原理简单、选相能力强，是 220 kV 及以上电压等级输电线路必须配置的主保护。线路电流差动保护要求数据传输通道准确无误地传送保护信号，尤其要求传输通道时延尽量小，并且发送和接收时延具有对称性。随着电力通信网分组化进程的不断推进，PTN（packet transport network，分组传送网）正在成为继电保护数字传输通道的实现技术之一。但是，PTN 能否承载继电保护业务依旧尚无定论。由于 PTN 承载 TDM（time division multiplexing，时分复用）业务时具有显著的随机性，这种随机性会导致收发通道时延不一致，而线路电流差动保护需要实时比较线路两端的电流样值，并要求两侧数据必须同步。若收发时延不相等，则会产生不对称时延，导致采样无法同步，出现采样角度误差。当角度误差过大时，会出现拒动或者误动的现象。由于其影响机理复杂，后果严重，因此，有必要采用有效的方法分析 PTN 传输通道的不对称时延对线路电流差动保护的影响，以提高继电保护的可靠性。

现有研究成果多只针对某一特定故障情况，缺乏较为系统的分析方法，而且以 PTN 为技术背景的研究成果较少。本文为了定量分析数据通道不对称时延对线路电流差动保护可靠性带来的影响，在分析了电流差动保护原理、动作判据后，针对不对称时延对继电保护可靠性的影响，确定了不同故障条件下的量化分析方法；最后，通过实例验证了该方法的可行性和正确性。具体分析方法为在确定保护判据后，根据采样角度误差与保护判据之间的关系，确定线路电流差动保护能耐受的最大不对称时延；生成 N 个服从指定正态分布，且小于或等于最大不对称时延的随机数；借助比率特性曲线图分析不对称时延影响后的动作点与判据的关系，计算不同故障条件下的不正确动作概率；最后综合各条件下的不正确动作概率得到继电保护的可靠性。

本文分析了不同故障条件下不对称时延对拒动概率、误动概率的影响。在本文给定的动作判据下，只要不对称时延始终小于能耐受的最大值，则可得出以下结论。

（1）区内故障接地电阻越大，拒动概率越大；在满足接地电阻不大于 300 Ω 时，不对称时延导致的拒动概率很小；区外故障时接地电阻为 100 Ω 左右时误动概率最大；无故障时差动电流与制动电流均很小，不对称时延不足以造成误动。

（2）在本文设置的各故障条件中，不对称时延影响后线路电流差动保护的最小可靠性为 0.982 7，通过采取措施减小不对称时延，可以有效提高系统同等情况下的可靠性。

上述结论是在给定判据下得出，但分析方法不失一般性。本文研究成果表明，通道不对称时延会引起继电保护的不可靠动作，而且影响程度与故障条件显著相关，该研究成果对继电保护通道的优化设计和继电保护可靠性的评估具有一定参考价值。

关键词：线路电流差动保护；继电保护通道；不对称时延；继电保护可靠性；仿真分析

人民邮电出版社出版

一种基于力学模型的电力通信网脆弱性评估方法

王耀升，张英敏，王畅
（四川大学电气信息学院，四川 成都 610065）

大摘要：

随着电力系统智能化的快速发展和电网规模的扩大，电网的可靠运行和稳定控制更加依赖于电力通信网络的健康运行。因此，研究电力通信网络的脆弱性具有重要的意义。为了合理评价电力通信网链路的脆弱性，本文提出一种基于力学模型的电力通信网脆弱性评估方法。将业务在链路上来往所占用的带宽容量与节点间业务相互来往的数目统称为节点间的相关性，并将链路业务间的往来相关程度视为一种关联的广义业务力，业务力越大，说明两节点间的联系越牢固、越稳定，以此相关性推出了业务力计算公式；在业务统计过程中，由于链路的通信业务数目可以实时统计,这里不失一般性的认为业务数目满足泊松（Poisson）过程，不是 Poisson 分布的可以采用核密度估计进行参数估计，这也让算法具备对网络脆弱性的实时检测和分析能力。采用均分时隙的最大似然估计，以泊松过程为统计背景对业务的参数进行估计。本文认为链路带宽承载着业务力做功所产生的能量，通过节点间所消耗能量及业务分布的功率谱密度函数，得到各频率下的业务通信带宽占用量，然后将链路上业务数目的变化以及占用带宽资源的波动视为广义力做功的结果，并借助力学公式，定义了逻辑距离，逻辑距离表述了链路的业务与带宽相互关联的紧密程度。在两个确定的节点链路上，逻辑距离越近则业务关联越大，业务力越大，链路越稳定，以逻辑距离变化区间来度量通信网络的脆弱性，由此定义了链路脆弱性。之后，本文在链路脆弱性的广义力学模型中，引用了广义质量的概念，节点的广义质量反映了链路或者节点对的重要性，即相连的两节点重要性越大，节点间业务来往越多，业务力也会越强，由此推出了节点对重要度的计算式。由于节点间的业务往来存在变动，因此这里的链路重要性具有一定的时效性，并不是一个不变的结果。已有的电力通信网络单元中建立了链路失效模型，并认为失效的原因主要为蓄意攻击失效模型和随机失效模型。本文在广义力学模型的基础上，根据链路动力学与力学原理，将攻击分为冲击型、能量型以及混合型 3 类攻击。最后，利用 MATLAB 建立模型进行仿真计算，验证了该方法能够实时、准确地分析以及评价电力通信网业务链路的脆弱性，并通过仿真数据得以验证 3 类攻击模型的正确性。广义力学模型具有可拓展性，也可以对其他网络进行分析，而对于具有其他特定的概率分布规律的网络，Poisson 分布可以改为其他分布或者核密度估计，进行参数或者半参数估计，再运用力学模型进行评价，使得该模型可以在电力系统脆弱性评估、城市管网规划等其他应用场景中推广。

关键词：脆弱性；通信网；拓扑结构；业务链路；力学模型

人民邮电出版社出版

一种基于人眼视觉特性的 Curvelet 域紫外图像增强算法

张斌，吴鹏，袁杰，孙凌卿，傅启明，陆宇
（江苏电力信息技术有限公司，江苏 南京 210000）

大摘要：

21 世纪初，基于紫外成像技术的放电异常检测逐渐得到我国电力系统和广大研究人员的重视，大量人力物力资源的投入换来了显著成果：云南电网公司利用紫外成像技术检测电线放电状况，并提出检测的准确率与仪器增益、观测距离和温度等因素有关；河南电力公司利用紫外图像判断设备是否放电，提出了放电强度判定方法；嘉兴电网公司利用紫外成像技术对各电力设备放电进行现场测试，并研究了各影响因素；沈阳电力公司利用光子计数判定设备放电状况。

然而，紫外图像本身具有对比度低、成像不清晰、整体成像过暗或过亮且受噪声干扰等特点，通常需要对紫外图像进行增强处理，以提高检测的准确性。采用常用的直方图均衡化、Retinex 等增强方法一定程度上可以提高图像的对比度，但是对于实际含噪的低对比度图像，这些方法会不同程度地带来噪声的放大，并且会使图像局部出现增强不足或过增强的现象。小波变换也被广泛地应用到图像增强领域中，目前已经有许多关于小波变换在图像增强方面的应用研究成果。然而，研究表明小波在表征二维图像的边缘、纹理等高维奇异性或本质几何结构特征上存在缺陷，导致图像细节部分的纹理增强效果不理想。

人眼视觉系统（human visual system，HVS）能敏捷地识别亮度的相对差异性，而对绝对亮度判断较差。也就是说，人眼能自主地优化图像的光强、灰度等，实现图像的最优显示。同时，Curvelet 变换具有多尺度特性以及良好的方向特性，能够将噪声信息和边缘信息很好地分开，在提高对比度、抑制噪声的同时，能够突出图像的边缘、纹理等细节信息。因此，提出了一种基于人眼视觉特性的 Curvelet 域紫外图像增强算法。

首先利用 Curvelet 分解待处理的紫外原图，获得低频与高频分量，利用这些高低频信息求取 HVS 中的 CM（对比度遮蔽）值以及 LCM（亮度-对比度遮蔽）值；接着非线性增大 LCM 值来提升紫外图像亮度对比，HVS 逆推算得到图像的高频分量，同时用非线性拉伸增强原图像低频分量提高图像整体亮度，最终将处理过的高低频分量通过 Curvelet 逆向变换，重新构建出紫外增强图像。

实验结果表明，与其他增强算法相比，提出的方法能够有效增强紫外图像对比度，同时抑制残留噪声，增强后的图像符合人眼视觉对图像信息的提取，突出了边缘和目标的轮廓信息，在主观视觉和定量指标方面都可以看到显著的效果。

下一步拟将当前研究成果与具体电力业务相结合，在导线外伤探测、绝缘子放电检测、高压设备污秽检查、电机绝缘缺陷检查、高压变电站/输电线路的整体维护以及寻找无线电干扰源等事务中研发异常情况自动检测技术，使本项目成果真正发挥作用，得到更广泛的应用。

关键词：紫外图像；掩蔽特性；Curvelet 变换；非线性增益；增强

人民邮电出版社出版

知识图谱与数据应用-智能推荐

周晶
（国网电子商务有限公司，北京 100069）

大摘要：

“十三五”是全面建成小康社会的决胜阶段，是推动能源革命的蓄力加速期。全面走向“数字化”正在为中华民族和电力行业带来千载难逢的机遇，必须敏锐抓住信息化发展的历史机遇。在这个大背景下，全业务电力物联网，位置、空间、安全、服务，工业互联网在电力行业中的应用情况等技术的研究不断地创新和突破，迎接新的机遇和挑战。新兴的互联网知识图谱技术得以在数据应用领域大展拳脚，充分发挥其数据采集、数据清洗、数据挖掘与分析、数据可视化展示等特色功能和优势，为大数据研究、AI 发展提供基础的数据支撑和方法论。

本文首先对知识图谱技术的“前世今生”进行阐述，说明了知识图谱技术的研究、应用和发展现状。然后对知识图谱“灵魂”部分的图谱构建技术流程、应用场景进行分析，表明在当前技术背景下，结构化数据、半结构化数据、非结构化数据都可以在制定的规则下构建对应的知识图谱，形成“实体-关系-实体”和“实体-属性-属性值”等结构的三元关系数据。最后概述了知识图谱数据应用的方向：通用知识图谱应用和行业知识图谱应用，特别对通用知识图谱的实体应用场景智能推荐做出详细的介绍。

本文取得了以下研究成果。

- 知识图谱构建组件：一个互联网知识图谱构建组件——KGMS 系统，该系统可应用到各个业务场景，根据业务场景的数据特点配置概念、实体、关系、属性等数据结构，生成定制化的知识图谱数据。
- 基于知识图谱技术的智能推荐平台：该平台可以为电商、资讯、多媒体等业务场景提供智能推荐功能的平台。
- 基于知识图谱技术的智能搜索组件：可以为电商、O2O、垂直类网站、多媒体、数据库等业务场景提供开放的检索服务组件。

本文研究理论及方法如下。

- 知识图谱数据处理技术：可以处理的应用场景数据包括结构化数据、半结构化数据、结构化数据，数据处理过程包括数据采集、数据清洗、数据挖掘与分析。
- 知识图谱构建技术：主要包含知识抽取、知识融合、知识存储、知识标注、知识数据可视化等技术。
- 知识图谱的数据应用：以知识图谱技术作为支撑工具，应用到智能推荐、智能搜索、智能客服等业务，构建基于知识图谱技术的业务系统。

本文创新点包括以下几点。

- 通过知识图谱构建组件，对国网电商平台业务系统的商品、店铺等数据进行了知识图谱构建，搭建了完善的商品图谱、店铺图谱，作为基础业务数据，支撑搜索、推荐等业务系统。
- 构建基于知识图谱技术的智能搜索服务组件，该组件可以处理所有业务场景数据，提供中文检索的开放搜索服务。
- 构建基于知识图谱技术的智能推荐功能模块，为电商平台提供千人千面的个性推荐内容。

本文在互联网知识图谱技术的研究方面进行了详细的阐述，同时对知识图谱构建技术、知识图谱在智能推荐等领域的数据应用技术进行了深入研究。互联网知识图谱技术是一门新兴的技术领域，应用前景广阔，以知识图谱数据作为一种工具或方法论，为人工智能、大数据等应用提供基础支撑作用，在站内搜索引擎、站内推荐、知识引擎等特定业务场景，知识图谱技术更是大展拳脚，大幅提高了业务系统的用户体验效果。

关键词：知识图谱；数据应用；智能推荐；智能搜索；数据可视化

人民邮电出版社出版

人民邮电出版社出版