

边缘计算与区块链在智慧用电中的应用

赵志宇¹, 谢林江¹, 耿贞伟¹, 杨本富², 李力², 罗焘³, 杨鹏生³

1. 云南电网有限责任公司信息中心, 昆明 650011

2. 云南云电同方科技有限公司, 昆明 650011

3. 云南电网有限责任公司昆明供电局, 昆明 650011

摘要 随着智能电网平台的逐步构建, 用电环节的数字化转型也有了实质性进展。介绍了边缘计算在用电信息采集、智能用电服务系统、智能充电的研究及应用情况, 阐述了区块链在电费结算、电力交易和电动车充电领域的研究及应用情况。分析了智慧用电实际应用中的关键技术问题, 探讨了面向边缘侧的区块链技术、云边协同与区块链的融合应用、平台与数据集成设计、多方对账业务的应用等。

关键词 边缘计算; 区块链; 智慧用电; 融合应用

随着国家能源改革的推进, 能源供需格局呈现多种新趋势, 同时随着经济的进一步发展, 电力负荷迅速增长, 传统电网的负荷和安全稳定运行面临巨大的挑战, 智能电网的概念应运而生并迅速发展。近年来, 在需求推动下智能电网得到快速发展, 先进的通信、信息和控制技术融入传统电网的发电、输电、变电、配电、用电和调度等各个环节。在用电环节, 数字化转型已有了实质性进展, 但是精益化管理的营销稳态业务和快速发展的新兴业务对用电信息采集有了更高的数据要求, 要实现智慧用电必须借助物联网、云计算、区块链等新兴技术的支撑, 开展营销计量业务和新技术的融合创新

应用^[1]。电网系统为提高电力系统安全稳定水平, 提高系统和资产的运用效率, 提高用户侧的能效管理和优质服务水平, 提高资源优化配置和高效运用能力^[1], 逐步构建以信息化、自动化、数字化、互动化为特征的智能化电网平台^[2]。

在用电环节, 南方电网提出建设现代供电服务体系的发展战略, 目标包括营销基础业务效率明显提升、增值业务取得新突破、营销领域数字化转型取得实质性进展、服务生态模式初步呈现、用户需求得到快捷响应和有效满足, 获得感、幸福感和安全感显著提升, 客户平均停电时间、获得电力指数, 第三方客户满意度指标持续向好, 达到或接近世界

收稿日期: 2023-09-12; 修回日期: 2023-12-11

作者简介: 赵志宇, 硕士研究生, 研究方向为电网数字化, 电子信箱: 379431605@qq.com

引用格式: 赵志宇, 谢林江, 耿贞伟, 等. 边缘计算与区块链在智慧用电中的应用[J]. 科技导报, 2024, 42(9): 17-25;

doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2022.07.01104

一流水平。

精益化管理的营销稳态业务和快速发展的新兴业务对用电信息采集有了更高的数据要求,要实现智慧用电,确保用电采集系统能采、能存、能算、

能管、能用,必须借助物联网、云计算、大数据、区块链等新兴技术的支撑,开展营销计量业务和新技术的融合创新应用。当前用电业务与技术应用的趋势如图1所示。

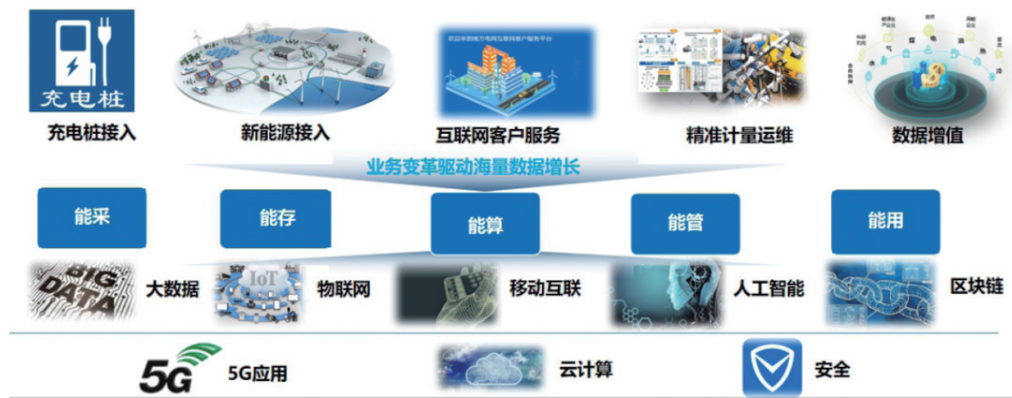


图1 当前用电业务与技术应用趋势

目前在用电侧,物联网技术已经得到深入应用,最典型的是低压抄表方式的转变,通过物联网技术提升电网与用户的互动,提升用户的使用质量,同时在提高用电效率和安全用电管理水平上也发挥了重要作用^[3];云计算提供可扩展的计算资源,实现电网数据的高效分析;边缘计算在电网海量终端设备接入和数据处理方面具有优势;区块链可以解决云边协同架构中数据的可信存储、可信计算、可信传递和可信管理。

1 边缘计算在智慧用电中的应用

随着智慧电网的发展,物联网设备在电力领域的应用已经广泛普及,物联网与智慧电网的融合,使用户之间以及用户与电网之间可以进行实时连接和互动,实现了对数据信息的收集和实时传输,同时物联网技术的应用还加强了智慧电网的智能处理和决策支持。

在智慧用电方面,物联网技术的应用主要集中在智能电表的用电采集及用电数据分析。低压远程抄表是物联网技术在电力行业应用的基础体现之一,基于所采集的用户侧信息,用电信息采集系统可以对用电信息进行深入分析、挖掘,获取有价

值的信息,为用户提供多项服务,同时还可为电力营销开展电力市场分析提供数据支撑。但是,当面临海量异构设备数据接入时,为解决数据量激增的问题,云计算技术被引入,但云计算也有传输成本高、实时性差等劣势,因此,将边缘计算引入智慧用电成为必然的趋势^[4]。

1.1 边缘计算技术概述

边缘计算是指在网络边缘端执行计算的一种新型计算模型,边缘计算与云计算的区别就是将计算资源下沉到边缘数据产生端,通过在边缘进行部分或全部的数据处理,从而大大减轻网络宽带的压力,为系统提供较高的实时性,并确保通信的可靠性^[5]。

边缘计算产业联盟在《边缘计算参考构架2.0》^[6]中提出“边缘计算是融合网络、计算、存储、应用核心能力的开放平台,在靠近物或者数据源头的网络边缘侧,就近提供智能互联服务,满足行业在业务实时、业务职能、数据聚合与互操作、安全与隐私保护等方面的关键需求。”边缘计算是云计算的有效补充,将云计算的部分计算任务与存储任务下放到边缘设备上,可以有效降低云端的计算负担;边缘节点对数据进行实时计算,增强系统的实时性提升数据的处理效率^[7]。

1.2 边缘计算在智慧用电中的主要应用方向

随着边缘计算的发展,目前其在智慧电网中有许多研究和应用,针对智慧用电环节,构建灵活、互动的智能用电是智能电网的重要任务,包括信息和电能的双向互动,鼓励用户改变传统的用电消费方式,积极参与电网运行,实现分布式电源、电动汽车“即插即用”的并网运行方式。因此,边缘计算的应用和研究主要集中在以下3个方向。

1.2.1 用电信息采集

用电信息采集是智能用电应用中最基础和最关键的环节,传统的抄表方式是单向的数据采集,随着近年智能电表的推广和应用,已经逐步建立起智能双向用电的新业务模式。要实现真正的双向用电互动,智能电表及终端、智能网关、通信系统是需要重点研究和建设的方面。

边缘计算在智能电表及终端和智能网关的应用已经比较成熟,现有智能电表具备多功能、多费率、预付费、电能质量分析、电网运行状态监测、通信与自动抄表等诸多功能,已成为电网运行的核心用电侧感知元件。

目前研究方向主要是基于边缘计算的智能台区和智能网关的设计应用,谷海彤等^[8]基于边缘算法,以智能配变终端为核心,设计了低压侧智能台区系统,最终实现低压台区的本地拓扑计算识别、分支线损分析、电气量监测预警、环境异常报警、停电事件上报等功能。任宝军等^[9]研究了一种基于容器技术实现边缘计算的智能配用电一体化终端,可与低压智能设备、传感器和智能电表就地组网,并通过物联协议接入物联管理平台,在采集端就地采集数据并实行基础计算,根据数据优先级及重要程度选择性上送部分数据,以此降低对带宽的要求,达到缩减服务站计算能源消耗的目的。刘雯等^[10]通过 Docker 虚拟化技术在网关内搭建计算服务模型解决了 Docker 设计电力网关时逻辑混乱的问题。许杰雄等^[11]选用了技术更加成熟的 EdgeX Foundry 框架作为边缘计算网关,使用轻便的 MQTT 协议作为安全协同传输和控制协议实现了电费实时计算系统。罗达等^[12]提出的基于边缘计算的智慧能源网关实现了信息流和能量流的融合,

能承担电力信息和数据网络的互联、调度和控制,实现电网和终端状态的感知智能控制。

1.2.2 智能用电服务系统

智能用电服务系统是智能电网建设在用户侧的重要组成部分,利用边缘计算技术能协助提升电网与用户的互动,提升用户的用电质量,同时实现用电安全管理等。

李琳等^[13]探索了面向低压居民客户的智慧能源服务新模式,设计了居民侧智慧用电的系统架构,研究了感知终端、智慧用电大数据分析和多元精准服务等内容。陈中等^[14]在居民区用电信息管理模型中增加备用边缘节点角色,提出基于任务卸载的管理框架及流程,并对居民区用电设备产生的计算任务进行分析,通过建立计算模型和多用户博弈模型,求解纳什均衡,得到最优任务卸载决策。沈颖等^[15]采用边缘计算对企业用电行为数据进行分析计算,通过物联网实现数据交互,在云端实现可视化互动。董中凯等^[16]研究了结合边缘计算、大数据、云计算等技术的用电服务平台,设计了基础设施服务、软件服务和平台服务3个层面的电能质量服务选择和优质的电能质量服务产品方案。谢玮等^[17]提出一种基于边缘计算的末端融合信息系统,旨在优化电力营销末端,实现网络减压、故障局部化等功能。

1.2.3 智能充电

近年来,作为低碳经济、新能源重点产业的电动汽车在数量上逐年增长,新能源汽车的充电成为用电端的重要组成部分,科学有序建设智能充电服务网络是新能源汽车发展需要解决的重要基础问题。随着电动汽车的规模化应用,需要结合互联网、边缘计算等新技术来实现电动汽车的单向有序、双向有序、充放电与电网控制调度、信息交互等。陈明庆等^[18]提出了一种基于局部电压幅值与云边协同的分散式充电桩充电协调方法,实现了大量分散式充电桩的协同有序充电,减少负荷波动,降低充电负荷对电网的影响。沈忆等^[19]提出一种基于网络切片和边缘计算的网络架构,允许可调度电动汽车和智能电网之间的电力和信息双向流动,以提高能源服务提供商的服务质量和成本效益。

2 区块链在智慧用电中的应用

在智慧用电场景下,分布式网络下的大量物联网终端数据最终要接入云端平台,终端设备的身份验证、数据隐私和网络安全等问题变得更加重要,此时区块链技术的引入则是顺应了智慧用电应用的需求,并能很好地解决这一问题。

2.1 区块链技术概述

区块链本质是一种基于分布式数据存储、点对点传输、加密算法、共识机制等计算机新技术相结合的新型应用技术^[20]。

区块链最早使用在比特币中,由于其去中心化和数据不可篡改等特点后续被很多应用场景所关注。在区块链技术中,数据存储以区块头和区块体2个部分实现,区块体中包含可信交易信息;共识机制是区块链的核心技术,保障存储在区块中的数据是真实可信的;加密算法是区块链的另一核心技术,通过加密算法满足区块链安全性的需求^[21]。

2.2 区块链技术在智慧用电中的主要应用方向

区块链作为一种新兴技术,目前比较成熟的应用场景包括金融、医疗、交通、物流等领域。何正源等^[22]研究了区块链物联网的应用场景,包括无人机、车联网、电网、农产品运输等场景下的应用,并针对物联网的区块链底层技术进行了研究。

区块链在智慧电网中的应用也有一定研究成果,蒋博^[23]对区块链与边缘计算在电力系统中的应用进行了展望,特别是在电力生成管理、输变电故障处理、微电网和虚拟电厂管理以及全球能源互联网配置方面的应用进行了分析。梅文明等^[24]探索和分析了区块链技术在电力领域的应用场景,包括优化电网运营、培育产业发展新动能和推动企业精益化管理各个具体方面的应用点。

在智慧用电方面,区块链技术还处于初期研究尝试阶段,李彬等^[25]对基于区块链的智能用电云服务模式进行了分析,对智能用电区块链的功能域划分进行探讨,并对智能用电区块链的发展挑战进行了总结。目前区块链在用电端的研究和应用方向主要集中在以下3个方向。

2.2.1 电费结算

电网传统集中式的电费结算技术存在结算流程长、响应不及时、交易合同不能完全掌控等缺点,区块链技术可以有效地解决电网交易结算业务的现有缺陷,提高财务数据安全、使交易过程得到有效监管。卞朝晖等^[26]利用区块链技术对厂网购电费的结算流程优化方案展开研究,提出了运行在区块链上的智能合约以降低电力市场交易的信任成本来提高电费结算的效率。许杰雄等^[27]针对电力企业中电费风险产生原因和电费催收存在的问题,给出了基于区块链技术的电费催收系统架构及系统设计的关键技术,解决了传统催收举证困难及客户对电力企业催收行为满意度低等问题。薄林等^[28]将区块链技术和大数据融入电力营销信息平台,通过采用区块链技术提高电力营销管理系统的安全性和共享能力,从而实现客户业务受理、电量电费、电能收费和电费核算的管理监督分析。

2.2.2 电力交易

区块链技术在用电端的另一个重要应用场景是电力交易,包括分布式电力交易、可再生能源消纳、碳排放交易等。区块链技术可以解决电力交易过程中的信任和隐私保护问题,保障交易安全。鲁静等^[29]分析了电力市场交易结算智能合约的关键技术难点,利用运行在区块链上的智能合约降低电力市场交易的信任成本,提高清结算效率,同时推动能源零售市场的智能化。廖会敏等^[30]研究了基于区块链的微电网电力交易机制,提出联盟区块链的微电网电力交易模型并描述电力区块链的交易过程,通过分布式“一对多”的方式实现微电网电力交易中的数据隐私保护,采用共识机制提高了微电网电力交易中数据交互的效率。王冰钰等^[31]将区块链技术引入分布式发电的市场化交易中,针对交易的特点,构建了相应的交易机制、结算机制和奖惩机制。吉斌等^[32]结合区块链技术,引入碳排放权交易“泛双边”交易机制,构建“多对多”的多轮碳排放权交易匹配与出清方式,设计了基于区块链的碳排放权交易应用。安文等^[33]对区块链技术在分布式可再生能源电力交易中的应用现状进行了综述,

并对其在这一领域中的应用前景进行了展望。

2.2.3 电动车充电

随着新能源汽车数量的不断增加,电动汽车充电面临充电桩紧张、充电协议和计量模式多样、充放电互动性差、充电时段集中等诸多问题,区块链技术的引入,可以实现充电桩共享及透明化计费。齐林海等^[34]针对电动汽车充电场景提出了一种基于区块链、闪电网络以及智能合约技术的充电桩共享平台方案及其实现方法。黄达等^[35]基于区块链的电动汽车充电站信任机制,组建了能够反映电动汽车充电站服务质量、用户满意度等行为的信任指标,并采用双层链的结构,在保留信任度凭证的同时加快系统的检索与响应速度。王浩柱等^[36]提出基于联盟区块链的新型智能电动汽车充电系统,利用生物目标混合整数规划模型和有限领域记忆搜索算法,进一步提升智能合约运行速度及性能。赵思翔等^[37]提出基于区块链的电动汽车充电桩两阶段交易优化方法,引入双向交易市场、P2P 交易市场,在各个充电站之间进行充电权交易,构建出电网与电动汽车充电桩交易的优化模型。

3 智慧用电应用中的关键技术问题

随着计量自动化系统的建设运行,目前智能电表和低压集抄“全覆盖”已经实现^[38],用电管理和客户服务水平得到了实质性的提升,但距离现代供电服务体系中营销领域数字化转型取得实质性进展,用户需求得到快捷响应和有效满足,电力获得感、幸福感和安全感显著提升的目标还有较大差距。主要原因如下。(1) 中心化的计量模式用电数据高效采集和应用能力无法有效支撑营销计量稳态业务的精益化应用和新型业务应用的需求^[39]。目前,数据只能以周期性轮询和补采的方式进行采集,数据采集的全面性、实时性不高,采集和分析需错峰进行;终端缺少接入认证和加解密机制,数据原始采集和传输过程中存在安全风险;中心化的数据存储和共享难以做到有效管控,数据所有权不透明,容易被篡改且不可追溯。(2) 缺乏高效可信的云边协同机制,供需互动响应及时性弱。现有终端计

算、存储能力无法动态扩展,云上计算能力无法有效延伸和扩展至边缘侧,“边缘智能”“端边互补”“边网协作”和“云边协同”核心能力不足,制约了业务精益化管理和客户服务水平提升,供需互动无法及时、就近响应,难以支撑未来分布式能源交易、多能互补、新能源补贴、碳排放、碳交易、绿证等新兴业务的应用需求^[40]。综上所述,要实现真正的智能用电,必须解决以下关键技术问题。

3.1 数据可信存储和高效处理

借助边缘计算技术解决用电数据的全量、高频采集和快速计算,利用区块链的高效共识机制和数据可扩展性技术来实现数据快速上链和多样化数据存储。特别是区块链的动态创建技术,当将边缘设备作为区块链节点时,如何实现节点的快速加入是应用实现的重点,此外,边缘计算与区块链融合应用技术,借助叠加在边缘节点的区块链服务,如何赋能边缘计算安全可信和边缘节点的协同作业是亟待解决的问题。

3.2 区块链与现有平台的兼容对接技术

目前,南方电网已经建立物联网和区块链平台,如何将各地方构建的区块链与南方电网物联网平台云上主区块链进行对接,并实现数据的跨链交互,实现主侧链结合的区块链应用模式是智慧用电平台区块链应用的重点和难点。

根据现有平台数据采集的要求,在边缘设备中还需要通过边缘计算技术实现数据分流机制,实现数据从边侧向云上的直接流转,提高数据采集的实时性,满足跨域、跨层级数据融合共享和各业务提质增效的需求。

3.3 云化部署与边缘智能的多模态协同应用机制

在现有智慧用电云边协同基本架构上,加入区块链技术,还需要研究采用云化部署的区块链与边缘计算应用方式,通过边缘设备和云上资源的联动,实现云边基础资源的动态分配和统一调度。包括:数据协同技术,形成多区域、多层次的数据分流、数据交互和应用机制;应用与算法协同技术,实现云上统一的设计开发,边缘侧下发和容器化部署执行;业务协同技术,实现不同业务场景的边缘侧就地计算、智能闭环,并协同云上结果数据进行更

深层次的业务应用分析。

3.4 智能合约对账技术

区块链在智慧用电中的重要作用是实现智能合约对账,利用区块链的智能合约技术,通过将电价、电费策略下发至边缘节点,在计算周期内,自动触发链上电费智能合约的计算,将费算结果上链保存,同时在边缘侧生成费控指令直接下发至端侧设备,实现就地费控,提升用户用电体验是智慧用电的最终目的;实现区块链节点准入机制,构造营销、财务、银行三方的电费数据链,进行电费账本的共享,实现电费多方对账验证是区块链智能合约对账功能设计的重点和难点。

4 边缘计算与区块链融合在智慧用电中的应用

鉴于目前边缘计算在智慧用电中使用已经较为成熟,但区块链作为最新的技术引入智慧用电平台中则面临如何与原有平台融合应用等多种问题。因此,本研究基于面向海量多元用户的区块链与边缘计算的智慧用电应用研究项目,对智慧用电场景下区块链和边缘计算融合应用进行了研究。项目将原来中心化的模式向去中心化模式转变,通过下沉采集和计算压力,减轻云端计算负荷、降低网络压力,提升用电数据采集和高效应用能力,区块链赋能边缘计算协同、安全可信和共享,二者融合应用,有效支撑营销计量稳态业务的精益化应用,满足未来新兴业务的应用需求。

4.1 面向边缘侧的区块链技术

为满足区块链在边缘侧的应用需求,面向边缘侧的区块链技术研究主要分为2大部分:云端 BaaS 平台和边端侧链。

云端 BaaS 平台需要提供用户和管理员操作界面 UI(user interface, 用户界面),方便用户从云端下发链部署和合约到边端,同时云端作为各个边缘侧链的数据接收汇总端,用于统计边缘侧链数据,并进行汇总分析。边缘侧链则以 ARM 版本操作系统和 Docker 为主要依托,通过云边协同通道,对 BaaS 平台下发的指令做解析,并上传相应数据到

BaaS 平台,方便管理者和调用者实时掌握边缘侧链的运行情况。

在边侧区块链应用中,需要的基础支撑技术包括共识算法、国密算法和 Docker 容器。主要解决的问题:一是边缘侧区块链的适配,在智慧用电场景下,边缘侧链需要下沉到台区智能设备,由于较多区块链产品存在 ARM 架构无法兼容的问题,同时考虑到边缘侧台区设备的低配特性,因此需要对底层区块链程序进行主流处理器架构(ARM、X86)适配、主流操作系统适配(CentOS、Ubuntu 等)和边缘侧轻量化裁剪;二是边侧区块链的部署,智慧用电场景面临网络环境和物理存储的限制,可能存在台区物理距离远,且台区组网成本过高等问题,此时区块链部署要根据实际情况,对相对集中的区域采用多个台区组网的方式进行区块链部署,每个台区部署 1 个节点,而单台区孤链则将区块链部署到台区的 1 台设备上,并在同一台设备上进行组链和共识。

在实际应用中,BaaS 平台部署在云端,方便管理者和用户实时通过远程调用掌握边缘节点和边缘侧链的运行情况。管理员通过 BaaS 平台下发指令,借助云边协同平台即可远程完成边缘侧链管理、智能合约管理等操作。

4.2 云边协同与区块链的融合应用

云边协同平台是云端与边端通信的基础设施,由于云端与边端可能存在无法从云端直接使用 TCP/IP 协议连接边端,所以设计 BaaS 平台以云边协同平台作为基础架构和网络通信基础设施,通过管理镜像、下发指令等云边协同平台提供的基础能力,对边侧的区块链进行云端管理,同时实现云端建链、消链、合约部署等操作。

基于云边协同的 BaaS 平台在云端采用微服务架构,提供 BaaS 平台的后端服务集群基础能力;在边侧节点上,采用容器方式部署,将区块链能力组件通过云边协同平台下发并进行部署,同时边端将采集和计算得到的数据通过云边协同平台上传云端。

边侧区块链管理功能包括区块链镜像维护、区块链创建和区块链删除功能。由于区块链节点在边缘侧,边缘侧存储能力低,在实际应用时还要重

点解决云边协同下的区块链数据管理,具体设计如下:对边缘侧数据做好定期备份,并将老旧的数据进行删除裁剪,以防止边缘节点存储空间导致的系统故障;云端系统对边缘侧节点进行实时的数据查询和整理,由此需要对边缘节点的区块链应用进行数据归档。

4.3 平台与数据集成的设计

智慧用电平台涉及业务应用系统、云边协同平台和区块链BaaS平台等多个独立的软件系统,面对客户时需要通过功能界面集成,实现平台的统一管理,让用户有无差异的体验。实际应用中需要整合多个系统或平台,通过单点登录和用户角色判断,一个入口进入后呈现不同的系统视图;针对不同单位、不同业务域,按需上线和集成不同独立的业务应用,底层技术能力可复用,系统间数据可共享;对不同业务应用,云边协同和区块链能力可以融合使用,也可以按需使用,满足多场景业务应用对技术能力的需求;数据统一通过区块链对外提供服务,实现数据共享的同时,保障数据的可信、可追溯。

针对南方电网已有的云上主链,还要考虑边缘侧链数据上链的问题,本研究中网络架构较为复杂,涉及边缘台区、DMZ区、IV区和III区等多个网络分区,边缘侧链需要链上数据同步至IV区的南方电网主链,而边缘台区与IV区间的网络并不能直接联通,台区侧链同步数据至南方电网主链需穿过防火墙,经由III区,借助APN通道完成。因此,边缘侧链无法通过传统跨链技术直接完成侧链至主链的数据同步,需要自研数据中转网关,作为联通边缘台区和IV区的数据传输中介,部署在III区,从而解决边缘侧链到南方电网主链的数据同步问题。

针对南方电网已有物联网平台,智慧用电平台在接入时,把智慧用电平台当成存量的业务终端不做变动,保持原有业务架构的设计;把台区智能设备放在感知层,对接南方电网物联网平台新一代智能网关,网关将数据上送至物联网平台分节点,在云端对接物联网平台分节点获取增量终端的感知数据,实现智慧用电平台的数据采集双通道模式。

4.4 多方对账业务应用

基于区块链技术的多方电费对账业务实现思路,将营销、银行、财务三方的初始明细数据上链,自动触发区块链的对账合约,实现链上的自动对账,并将对账结果在链上进行共享。

各方数据上链有3种处理方式:一是由营销、财务、银行三方分别将各自数据上送至区块链,自行维护各自的区块链节点,采用此方式的优势是区块链的可扩展性强,但实施难度大;二是由信息中心统一维护区块链节点,并通过应用程序接口(API)或其他方式为第三方系统提供数据上链服务,由营销、财务、银行三方将数据自行上链,此方式可扩展性较强,但也存在实施难度大的问题;三是由信息中心统一维护区块链节点,并通过API或其他方式统一将营销、财务、银行三方数据上链,此方式实施便捷,但区块链可扩展性差。具体需要根据实际情况研究确定采用何种方式。

在自动合约对账方面,需要充分研究银财、营财领域所涉数据交互、多方交易、对账等具体业务场景的逻辑及规则,利用智能合约技术实现业务场景合同的定义、执行,实现基于智能合约的银营、银财、营财以及三方对账业务。在算法规则方面结合实际生成数据确认,主要包括营销银行对账规则、营销财务对账规则、银行财务对账规则以及三方对账规则。

目前,边缘计算与区块链融合应用研究成果已在云南电网小规模示范应用,后续会逐步进一步推广,通过在智慧用电中引入边缘计算和区块链等新兴技术,助力现有用电系统数字化转型和智慧化运营,满足电网供需互动及供电服务精益管理需求,早日实现现代供电服务体系的建设。

参考文献(References)

- [1] 南方电网公司数字化转型和数字南网建设行动方案(2019年版)[R]. 广州:南方电网有限责任公司, 2019.
- [2] 李兴源, 魏巍, 王渝红, 等. 坚强智能电网发展技术的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(17): 1-7.
- [3] 何奉禄, 陈佳琦, 李钦豪, 等. 智能电网中的物联网技术

- 应用与发展[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(3): 58-69.
- [4] 杜羽, 张兆云, 赵洋. 边缘计算在智能电网中的应用综述[J]. 湖北电力, 2021, 45(3): 72-81.
- [5] 施巍松, 张星洲, 王一帆, 等. 边缘计算: 现状与展望[J]. 计算机研究与发展, 2019, 56(1): 69-89.
- [6] 边缘计算产业联盟, 工业互联网产业联盟. 边缘计算参考架构2.0[R]. 北京: 工业互联网产业联盟, 2017.
- [7] Chen X, Jiao L, Li W Z, et al. Efficient multi-user computation offloading for mobile-edge cloud computing[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2016, 24(5): 2795-2808.
- [8] 谷海彤, 陈少梁. 基于边缘计算的低压智能台区应用设计[J]. 电测与仪表, 2021, 58(8): 36-41.
- [9] 任宝军, 高志勇. 基于容器技术实现边缘计算的智能配用电一体化终端[J]. 华电技术, 2021, 43(3): 25-30.
- [10] 刘雯, 刘欣然, 龚舒, 等. 边缘计算的电力网关设计及数据传输安全研究[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2022, 22(4): 42-46, 51.
- [11] 许杰雄, 余中杰, 孙亚慧, 等. 基于边缘计算技术的电费实时计算体系研究[J]. 电力需求侧管理, 2021, 23(3): 92-95.
- [12] 罗达, 张阳, 向运珉. 基于边缘计算的智慧能源网关[J]. 电工技术, 2020(19): 143-146.
- [13] 李琳, 魏鑫, 孙胜宇. 居民侧智能用电泛在感知技术与多元精准服务研究[J]. 供用电, 2019, 36(6): 10-15.
- [14] 陈中, 徐晓, 王海伟, 等. 基于备用边缘节点的居民区用电任务卸载优化策略[J]. 浙江大学学报(工学版), 2021, 55(5): 917-926.
- [15] 沈颖, 李昌. 基于边缘计算网关的企业用电行为可视化分析[J]. 电器与能效管理技术, 2020(7): 81-86.
- [16] 董中凯, 吴兰旭. 基于综合能源业务的电能质量服务体系研究[J]. 分布式能源, 2019, 4(4): 55-61.
- [17] 谢玮, 夏水斌, 何行, 等. 基于边缘计算的电力末端融合系统的优化[J]. 电测与仪表, 2019, 56(16): 61-66.
- [18] 陈明庆, 李建林. 基于局部电压幅值与云边协同的分散式充电桩充电协调方法[J]. 电力建设, 2020, 41(6): 60-68.
- [19] 沈忆, 何鑫. 基于网络切片和边缘计算技术的电动汽车充电行为[J]. 智能城市, 2021, 7(24): 18-19.
- [20] Satoshi N. Bitcoin: A Peer-to-peer electronic cash system[EB/OL]. (2009-03-16)[2023-05-12]. <http://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
- [21] 孙毅, 范灵俊, 洪学海. 区块链技术发展及应用: 现状与挑战[J]. 中国工程科学, 2018, 20(2): 27-32.
- [22] 何正源, 段田田, 张颖, 等. 物联网中区块链技术的应用与挑战[J]. 应用科学学报, 2020, 38(1): 22-33.
- [23] 蒋博. 区块链与边缘计算在电力系统中的应用展望[J]. 电工电气, 2020(3): 1-4, 11.
- [24] 梅文明, 王栋. 区块链技术在电力领域应用场景的探索分析[J]. 电力信息与通信技术, 2020, 18(2): 21-29.
- [25] 李彬, 肖惠, 文亚凤, 等. 基于区块链的智能用电云服务模式分析[J]. 电力建设, 2017, 38(9): 8-14.
- [26] 卞朝晖, 桑红蕾, 邵梦祺. 基于区块链技术的厂网购电费结算流程优化方法研究[J]. 自动化技术与应用, 2020, 39(11): 177-181.
- [27] 许杰雄, 尹飞, 余中杰, 等. 基于区块链技术的电费催收及风险防控研究与实现[J]. 电工电气, 2021(4): 56-61.
- [28] 薄林, 颜中原, 李翼铭, 等. 数据挖掘和区块链技术的电力营销信息平台[J]. 信息技术, 2020, 44(6): 60-65.
- [29] 鲁静, 宋斌, 向万红, 等. 基于区块链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.
- [30] 廖会敏, 张敏, 陈煜, 等. 基于区块链的微电网电力交易机制研究[J]. 山东电力技术, 2021, 48(3): 1-5.
- [31] 王冰钰, 颜拥, 文福拴, 等. 基于区块链的分布式电力交易机制[J]. 电力建设, 2019, 40(12): 3-10.
- [32] 吉斌, 昌力, 陈振寰, 等. 基于区块链技术的电力碳排放权交易市场机制设计与应用[J]. 电力系统自动化, 2021, 45(12): 1-10.
- [33] 安文, 李希年, 彭荣武, 等. 区块链技术在分布式可再生能源电力交易中的应用与展望[J]. 电工技术, 2022(8): 31-33, 36.
- [34] 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.
- [35] 黄达, 刘传, 唐郑熠, 等. 基于区块链的电动汽车充电网络信任管理机制[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2022, 39(6): 87-98.
- [36] 王浩柱, 谢秦, 邓方明, 等. 基于联盟区块链的新能源企业智能电动汽车充电系统[J]. 电气传动, 2022, 52(20): 63-69.
- [37] 赵思翔, 王亚超, 巨汉基, 等. 基于区块链的电动汽车充电桩两阶段交易优化[J]. 电力建设, 2021, 42(12): 93-103.
- [38] 张仙兰. 低压集抄系统的应用[J]. 通信电源技术, 2019, 36(12): 74-76, 79.
- [39] 姜宾. 用电信息采集系统多业务高效协同处理关键技术[J]. 中国设备工程, 2018(17): 125-126.
- [40] 王海柱, 郭文鑫, 郑文杰, 等. 配用电边缘计算终端的云边协同机制与运行策略[J]. 电器工业, 2020(11): 74-78.

On interaction between cloud main chain and edge side chain based on cloud-edge collaboration

ZHAO Zhiyu¹, XIE Linjiang¹, GENG Zhenwei¹, YANG Benfu², LI Li², LUO Tao³, YANG Pengsheng³

1. Information Center of Yunnan Power Grid Co., Ltd., Kunming 650011, China
2. Yunnan Yundian Tongfang Technology Co., Ltd., Kunming 650011, China
3. Kunming Power Supply Bureau of Yunnan Power Grid Co., Ltd., Kunming 650011, China

Abstract Since the construction of smart grid platforms there has been substantial progress in the digital transformation of electricity consumption. This paper focuses on the application research on edge computing and blockchain in Smart Electricity. Firstly, the concept of edge computing in smart power consumption is expounded. Then the research and application of edge computing in power consumption information acquisition, smart power service system, and smart charging are introduced. Meanwhile the applications of blockchain in smart electricity are elaborated in terms of the concept of blockchain technology, electricity bill settlement, electricity trading, and electric vehicle charging. And through analysis and summary, key technical problems in the practical application of smart power consumption are presented through analysis and summary. Finally, the integration applications of edge computing and blockchain in smart power consumption, such as edge measurement oriented blockchain technology, cloud edge collaboration and blockchain integration applications, platform and data integration design, and multi-party reconciliation business application, are discussed.

Keywords edge computing; blockchain; smart power consumption; fusion application ●



(责任编辑 傅雪)