

# 基于边缘计算与区块链融合的智慧用电平台的研究与设计

杨开兴<sup>1</sup>, 满红任<sup>2</sup>, 刘秀<sup>2</sup>, 陈晨<sup>2</sup>, 刘雪萍<sup>3</sup>, 李晋源<sup>2</sup>, 黎晚晴<sup>4</sup>, 李正轩<sup>1</sup>

1. 云南电网有限责任公司昆明供电局, 昆明 650011
2. 云南电网有限责任公司信息中心, 昆明 650011
3. 云南云电同方科技有限公司, 昆明 650011
4. 南方电网数字电网集团有限公司数字企业分公司, 广州 510000

**摘要** 近年来电力行业大力开展智能电网建设, 新技术的融合应用成为智能电网的发展趋势。从电网用电侧实际业务需求出发, 设计了基于边缘计算与区块链融合的智慧用电平台, 该平台在传统平台上将区块链技术 with 边缘计算进行融合应用, 将原有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; 同时用区块链技术赋能边缘计算, 实现协同、安全可信和数据共享。阐述了智慧用电平台的总体技术架构以及云端、边端边缘节点、边端区块链的具体技术架构、平台逻辑架构、业务应用架构和总体数据架构。在完成平台架构设计的基础上, 梳理了用电平台中智能费控、多方电费对账、智慧台区的具体业务逻辑, 并提出了对应的设计方案和实现流程。该平台可以满足高实时性电费计算、用电检查、线损分析、电压质量监测等精益化用电管理需求, 更好地服务于现代供电服务体系和多样互动的用电体系建设。

**关键词** 边缘计算; 区块链; 融合架构; 业务应用; 智慧用电

近年来, 在能源和电力需求增长的驱动下, 中国电网经历了从传统电网到现代电网, 从孤立电网到跨区大型互联电网的快速发展, 目前进入智能电网的发展新阶段<sup>[1-2]</sup>。智能电网将传统电网的发电、输电、配电、用电以及各种终端电气设备和其他

用能设施连接起来, 形成共享信息的数字化网络一体智能系统。智能电网不仅可以提供可靠、高效的电力保障, 还可以兼容各类设备的接入, 电网与多主体之间的灵活互动将进一步加强<sup>[3]</sup>。

为支撑智能电网发电、输电、变电、配电、用电

收稿日期: 2023-09-13; 修回日期: 2024-02-19

作者简介: 杨开兴, 高级工程师, 研究方向为电力计量及自动化, 电子邮箱: 768190379@qq.com

引用格式: 杨开兴, 满红任, 刘秀, 等. 基于边缘计算与区块链融合的智慧用电平台的研究与设计[J]. 科技导报, 2024, 42(9): 26-38;

doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2022.07.01106

等环节的流畅运行和信息互通,新型输、配电系统技术<sup>[4]</sup>、高级通信技术<sup>[5]</sup>、分布式能源管理技术<sup>[6]</sup>,以及高级计量体系和需求侧管理技术<sup>[7]</sup>等关键技术应运而生并快速发展。在用电侧,随着分布式能源交易、多能互补、碳排放、碳交易等新兴业务应用的发展,对数据采集和实时计算、数据确权、需求响应等提出更高的要求<sup>[8]</sup>。

目前,电网用电平台系统存在数据存储压力大、接口数量多且类型不统一、数据权限管理复杂、审核历程长等问题;在业务应用方面更高实时性的电费计算难以突破,用电检查、线损分析、电压质量监测等精益化应用难以深入开展,数字化服务支撑能力不够<sup>[9]</sup>。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<sup>[10]</sup>,如何在海量数据增长的背景下,确保用电采集系统能采、能存、能算、能用、能管,迫切需要借助新兴的技术。

边缘计算是指在网络边缘执行计算的一种新型计算模型,边缘计算操作对象包括来自云服务的下行数据和来自万物互联服务的上行数据<sup>[11]</sup>。边缘计算具有智能化、低延时、低能耗和高可靠的特点<sup>[12]</sup>,是解决电网中存在的激增问题的最好方法之一,目前已开始应用于变电场所、配电网、储能、用电管理系统等场景<sup>[13]</sup>。

区块链是一种综合运用了分布式数据存储、点对点传输、共识算法、加密算法等多种计算机技术的新型应用程序模型<sup>[14]</sup>,具有分布式高冗余存储、时序数据不可篡改和伪造、去中心化信用、自动执行的智能合约、安全和隐私保护等显著的特点<sup>[15]</sup>,区块链技术能够协助电网数据快速上链和多样化存储,赋能边缘计算安全可靠。目前,已经在电力交易<sup>[16]</sup>、可再生能源消纳<sup>[17]</sup>、需求侧响应和电网数据可信共享<sup>[18]</sup>等多方面开展试点应用。

因此,在智慧用电平台建设中开展营销计量业务和边缘计算、区块链新技术的融合研究,可以实现高实时性电费计算、用电检查、线损分析、电压质量监测等精益化用电管理需求,以更好地应用于现代供电服务体系和多样互动的用电体系建设。

## 1 智慧用电平台架构研究与设计

### 1.1 整体技术解决思路

智慧用电平台的整体设计思路是在传统平台上将区块链技术与边缘计算进行融合应用<sup>[19]</sup>,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;用区块链赋能边缘计算协同、安全可信和数据共享(图1)。通过将边缘计算和区块链二者融合应用,有效支撑用电侧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,该平台具有如下优势。(1) 区块链与业务应用共用边缘计算节点,区块链节点和应用以软件形式快速部署在边缘计算节点上,同时还可调用云上开放的能力;边缘计算靠近用户侧,经常使用的数据缓存在边缘节点中,提高通信效率,降低通信时延<sup>[20]</sup>。(2) 区块链为边缘计算提供信任,在边缘计算中引入区块链服务能够实现不同主体之间的协同,为多主体间提供中立、可信、易用的“信息+信任”平台,实现生产要素和资源在不同主体之间更高效地流通、有机整合,产生由点及面的

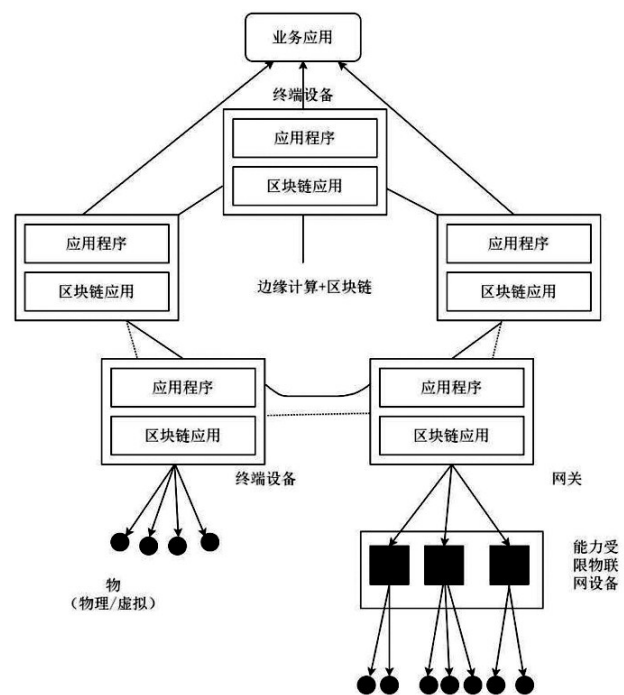


图1 整体技术解决思路

效果。(3) 借助叠加在边缘节点上的区块链服务, 可打通不同边缘之间、“端-边-网-云”各方面的孤岛, 实现信息和价值的打通, 产生跨网协同效应。(4) 区块链可帮助建立边缘计算系统的完整性保障和防伪存证, 也可帮助“端-边-网-云”各方面实现去中心的认证; 此外, 边缘计算节点为运行于其上的各种服务和第三方应用提供计算、网络和存储资源, 终端、数据、能力也可以作为公共共享资源, 开放给多个应用使用, 这些资源均可统一通过边缘计算平台上承载的区块链应用进行交易, 以充分发挥其价值。

### 1.2 总体技术架构

智慧用电平台的总体技术架构设计如图 2 所示, 总体结构包括云端和边端边缘节点 2 个部分。

其中, 边端边缘节点技术架构包括 2 部分: 边缘节点云边协同技术栈和边缘节点区块链技术栈。边端边缘节点作为云端在边端执行的载体, 主要实现业务数据的采集并上传到云端进行分析; 云端下发业务应用和业务合约到边端, 在边端进行业务逻辑判别; 同时, 在边端形成各区块链, 根据云端下发的合约, 进行数据上链存储, 保证计算过程和计算结果可靠、可信、可追溯。通过该架构的设计, 实现区块链技术和边缘计算节点的有效融合。

#### 1.2.1 云端技术架构

云端主要为边端提供管理支撑, 如下发业务、应用和数据到边端, 同时云端作为各个系统交互的平台, 负责与各个业务系统同步数据。云端技术架构分为表现层、应用层、数据层、服务层、平台层、接

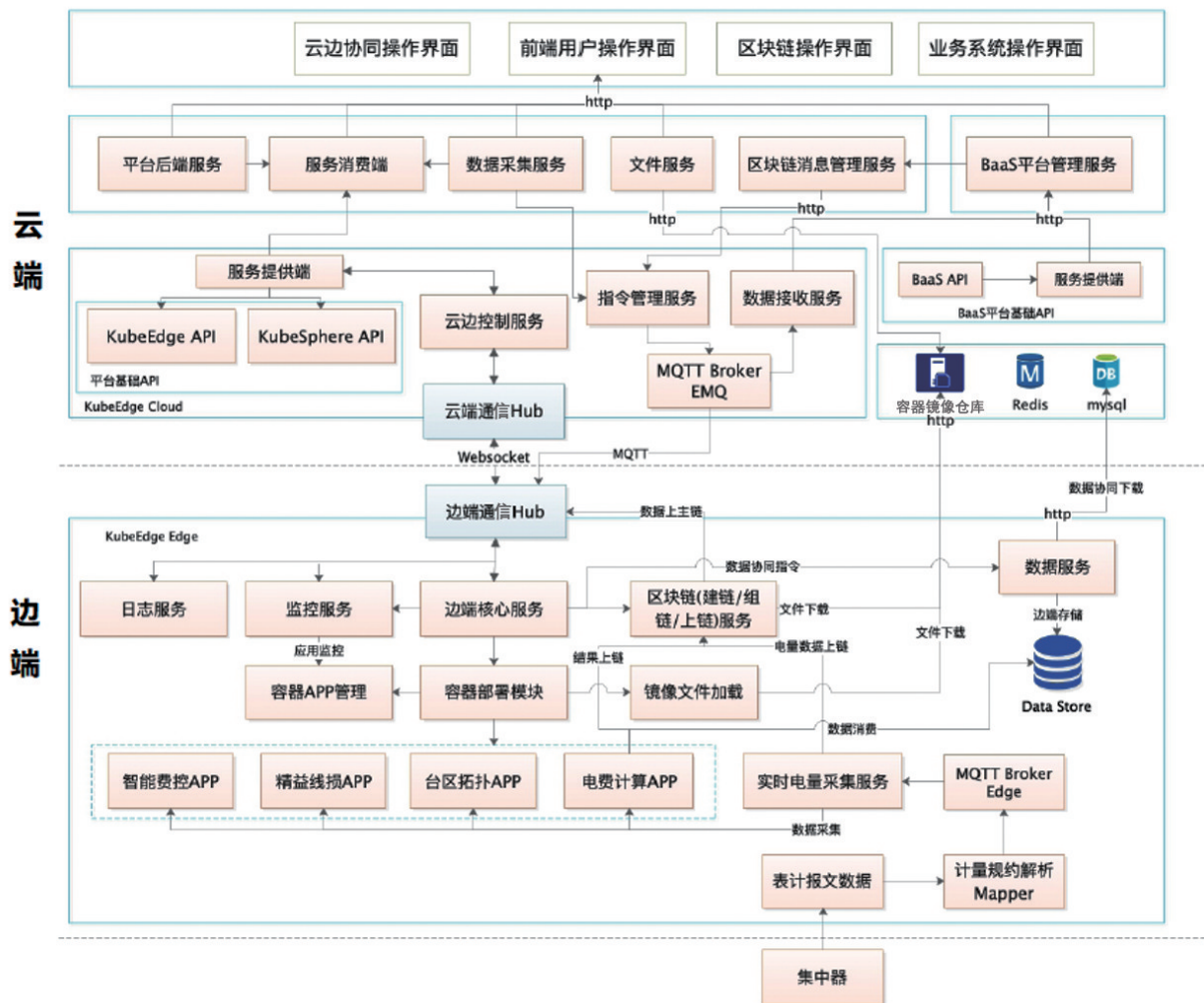


图 2 总体技术架构设计

口层和平台支撑。

表现层和应用层基于 B/S 架构,用户通过 Web APP 访问并进行业务调用,为用户交互提供可视化界面,以满足用户的图形操作和统计需求。在数据层除了部署有持久化数据库、缓存中间件和消息队列,还增加对云端区块链的支持,加入支持区块链世界状态(world state)的数据索引和支持链外关联存储的文件存储技术。服务层采用软件即服务(software as a service, SaaS),使用自动化平台对服务进行运维并快速编排和部署,通过预测性维护、能效优化、虚拟安全网关(vFW)和虚拟负载均衡(vLB)对边缘节点业务部署进行赋能优化,同时在服务层加入支持区块链平台 CA 服务,作为区块链的认证基础服务,为区块链提供证书服务。在平台层使用平台即服务(platform as a service, PaaS)对业务进行编排和部署,通过区块链即服务(blockchain as a service, BaaS)对区块链进行管理,通过 BaaS 平台下发智能合约,提高对边端管理的通适性。接口层通过基础设施即服务(infrastructure as a service, IaaS)对边缘侧节点进行管理,主要管理边缘节点资源和设备,加入信息与通信技术(information and communication technology, ICT)模块,提供云端到边端的通信能力,为边端边缘节点的状态数据和采集到的数据提供通道,同时也为云端对边端进行管理信息提供通信的信道。

在平台支撑方面,打通云平台、物联网平台和区块链平台,将区块链平台作为主链,打通边端区块链侧链上链,通过跨链同步技术,同步侧链数据到区块链平台。

### 1.2.2 边端边缘节点技术架构

边端技术架构分为服务层、平台层、接口层和硬件层。在服务层、平台层和接口层对接云端技术架构,以实现云边协同的服务协同、业务协同、应用协同、数据协同和资源协同,通过云端云边协同服务下发指令、资源和应用到边端,安装并执行边端业务应用,管控边端应用全生命周期,实现高效准确的协同。

服务层对应云端服务层,使用 EC-SaaS 技术对接云端 SaaS 平台,同时使用预测性维护,能效优化

等技术实现边端应用和设备的运维操作,通过 vFW 保证边端服务的网络环境安全,通过 vLB 实现边端服务的限流等操作,保证服务可靠。接口层对应云端接口层,使用 EC-IaaS 技术对接云端 IaaS 平台,通过边缘 ICT 基础设施与云端进行通信,上传采集到的和自身的数据,同时接受来自云端的指令和数据,实现云端对基础设施资源进行管理和调度。硬件层采用物联网硬件设备和支持国密算法(SM1/SM2/SM3)的加密卡,加密芯片和密码卡等技术,保护边缘设备不被来自边端的物理攻击攻破,保证边缘设备在边端的安全。

### 1.2.3 边端区块链技术架构

边端技术架构分为应用层、组件层、核心协议层和硬件层,在应用层提供对智能合约的支持,保证业务执行可靠,并且通过组件层提供智能合约操作的软件开发工具包(software development kit, SDK),方便智能合约和接入应用对区块链数据进行上链、查询和溯源操作。应用层使用智能合约和共识机制,将业务能力以合约的方式通过云端 BaaS 平台下发到边端节点,节点调用合约,通过节点背书和共识机制,保证业务执行的可靠和可信。组件层加入对区块链操作的各种编程语言 SDK 和容器支持,提供对应用层智能合约操作区块链数据的支持。核心协议层基于对等网络(peer-to-peer, P2P)提供共识机制,保证数据上链的可靠可信,提供智能合约执行的软件环境虚拟机,同时提供保存区块链账本的本地存储服务 LevelDB 和 FileLog,让边端节点具备存储数据的能力,方便数据溯源。硬件层采用物联网硬件设备和支持国密算法(SM1/SM2/SM3)的加密卡,加密芯片和密码卡等技术保证边缘设备在区块链认证中安全。

## 1.3 总体逻辑架构

智慧用电平台的总体逻辑架构如图 3 所示,包括台区智能终端、云边协同平台、区块链 BaaS 平台、业务应用平台 4 部分。

台区智能终端应用于台区侧,主要负责承载台区侧数据的采集及就地处理,并将处理后的数据上传区块链进行统一存储。台区智能终端能够接入边缘计算管理平台,基于平台对智能终端进行统一

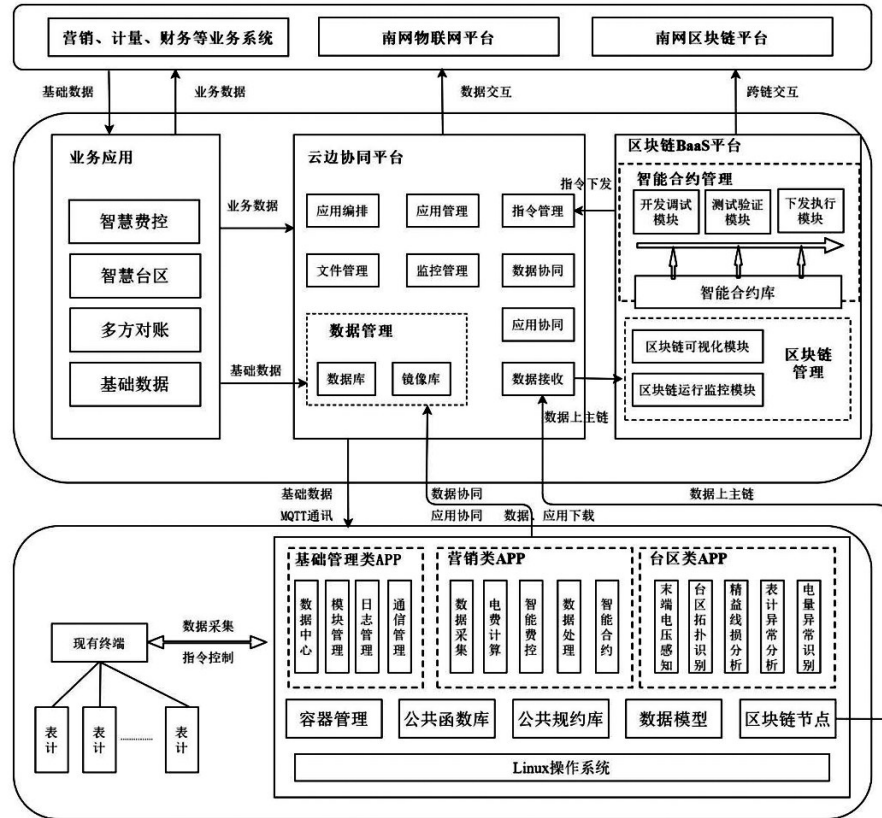


图3 总体逻辑架构

管理、监控及维护,同时,边缘计算管理平台能够完成终端内运行的业务应用APP的应用编排及下发到终端。

云边协同平台支持智能台区设备的统一接入、管理及日常监控运维,同时,可实现业务应用APP、AI算法等下发至台区智能设备执行。

区块链 BaaS 平台作为数据的可信存储及统一共享平台,会对台区数据、业务数据进行统一存储,并对外提供统一的数据共享服务;可支持对区块链的统一管理和配置,包括区块链的构建、节点管理和运行监控等;同时,区块链上整合智能合约管理,实现智能合约的验证及下发执行。

业务应用平台是轻量级的验证型平台,主要承载边缘计算及区块链应用成果的可视化管理执行。可与现有业务应用系统交互并获取基础业务数据后上传区块链存储,查询区块链上存储的业务数据、计算结果数据等。

### 1.4 业务应用架构

结合营销计量等多元用户智慧用电业务场景

及流程分析,可将整个智慧用电平台系统划分为设备层、网络层、基础数据层、支撑层和应用层,具体业务应用架构如图4所示。

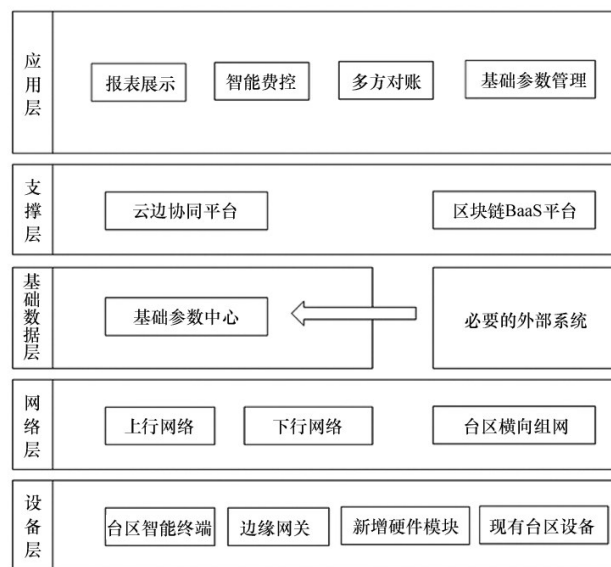


图4 业务应用架构

设备层即配电台区侧现有采集终端及智能台区设备。智能台区设备基于当前配电台区侧实际业务进行设计,集采集、计算、控制于一体。采集即通过旁路形式对接台区现有采集终端,实时或定时采集台区侧计量终端、电能表数据,包括电量、电压、电流、负荷、停电事件等;计算即基于部署智能台区上的高级业务应用APP,就地完成台区拓扑识别、台区线损率等台区精益化管理核心指标的实时或定时计算;控制即基于台区智能设备内置的高级应用APP,根据控制要求直接生成控制指令并下发,实现用户电表停复电的就地控制。

智慧台区设备本身具备存储能力,可以对采集的数据进行就地存储,同时,可以将计算结果数据、异常数据、告警信息上送区块链统一存储,并基于区块链平台向业务系统共享。智能台区设备统一接入云边协同平台,基于云边协同平台,对智能台区设备进行管理及远程维护。

网络层中上行网络采用现有的通信模式,下行网络解决表计数据的高效采集,台区横向网络支撑边缘侧区块链的应用。

基础数据层中基础参数中心根据业务功能需

求,提供除表计直接采集外的其他必要的计算数据来源,通过数据接口、人工导入的方式实现数据的集成。

支撑层包括区块链 BaaS 平台、云边协同平台。区块链 BaaS 平台提供区块链网络一键部署、节点接入配置、智能合约去中心化管理、成员准入管理、区块链网络监控等功能,支持业务层、设备层数据的上传及下达,为数据的可信存储、可信计算提供平台支撑,同时面向上层业务应用提供后端服务支撑;云边协同平台支持智能台区设备的统一接入、管理及维护,智能台区设备高级业务应用APP的应用编排及下发。

应用层业务应用系统面向省公司、供电局等业务单位或部门的用户使用。主要功能包括智慧台区、智能费控、多方对账和基础参数管理等。

### 1.5 总体数据架构

根据智慧用电平台的整体架构,数据架构主要从数据来源、数据采集、数据管控、数据存储、数据服务、数据应用、数据安全等多维度对数据进行全生命周期的管控。图5为平台总体数据架构图。

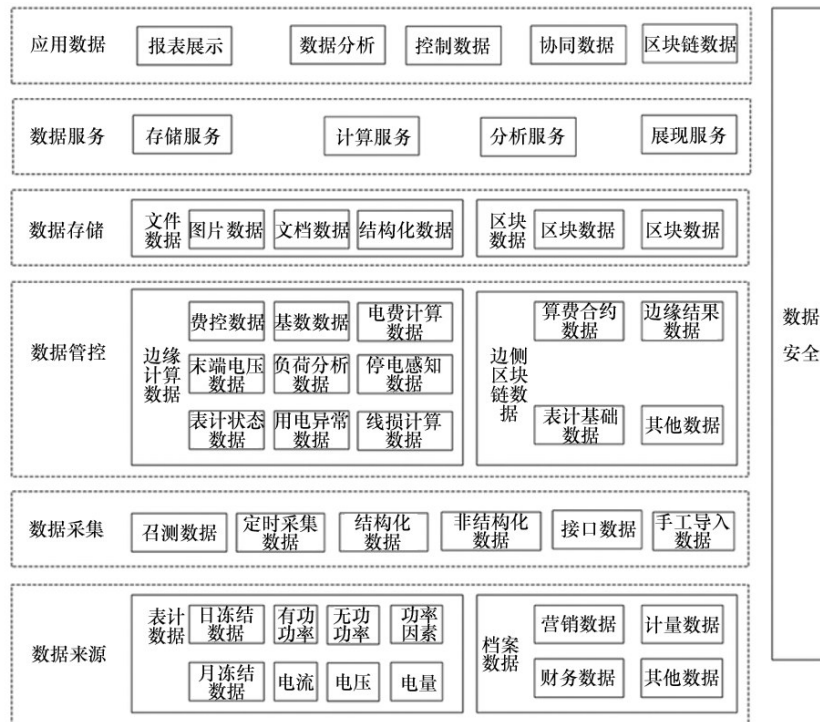


图5 总体数据架构

数据来源主要分为表计数据和档案数据,根据平台的需求,表计数据是平台数据来源的根本,通过采集表计数据对业务进行实现,使数据更好地服务于业务;表计数据主要包括电流、电压、电量、有功/无功功率等数据。档案数据来源于业务系统,主要包括:营销数据、计量数据、财务数据、其他业务数据。

数据采集主要是源数据的来源方式,包括定时采集、结构化数据、非结构化数据、接口数据、手工导入数据等方式。

数据管控主要分为2部分,一部分是边缘计算数据,另一部分是边侧区块链数据。边缘计算数据主要是边缘端应用所使用到的数据项,包括费控数据、基础数据、电费计算数据、末端电压数据、负荷分析数据、停电感知数据、表计状态数据、用电异常数据等;边侧区块链数据包括:计费合约数据、边缘结果数据、表计基础数据以及其他数据等。

数据存储包括文件数据和云端区块链的区块数据,文件数据有图片数据、文档数据和结构化数据,云端区块链数据主要是存储在各个分区的数据。

数据服务是对数据进行加工或消费的工具,包括存储服务、计算服务、分析服务、展现服务等。

应用数据主要是对数据的消费,包括报表展示、数据分析、控制数据、协调数据、区块主链数据等。

## 2 智慧用电平台业务应用研究与设计

在智慧用电平台架构设计的基础上,梳理用电平台中智能费控、多方电费对账、智慧台区的具体业务应用逻辑并提出对应的设计方案和实现流程。

### 2.1 业务应用总体设计思路

智慧用电平台包含智能费控、多方电费对账、智慧台区等多个业务场景及流程,可将整个业务应用划分为云、边两侧应用。云端业务应用系统部署在云端,作为边端应用的配套管理系统,同时实现对边端应用处理数据的统计分析,主要包括智能费控管理、智慧台区管理、多方电费对账和基础参数管理等功能;边端业务应用将定制于台区智能设备中,主要实现分布式计算与分析。功能包括台区拓扑识

别、线损计算、电压计算、负荷分析、停电感知、用电异常分析和表计状态监测、智能费控功能(图6)。

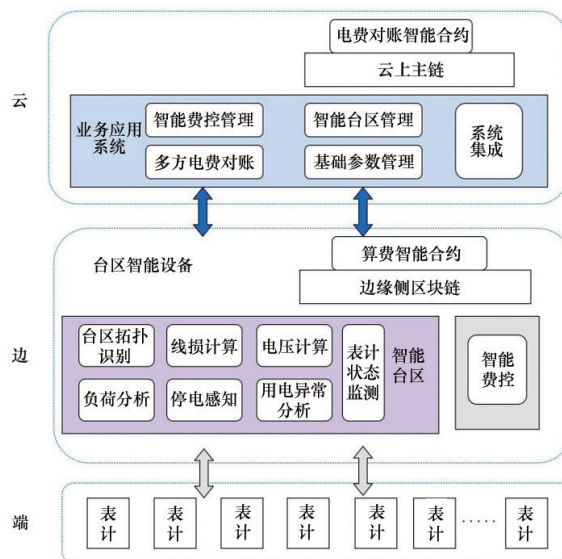


图6 业务应用设计思路

### 2.2 业务应用具体设计

#### 2.2.1 智能费控业务应用的设计

智能费控业务基于台区智能设备应用,结合区块链智能合约及边缘计算技术,以台区为单位,实现用户电量的分布式高频采集以及用户电费的高效计算。

如图7所示,智能费控业务实现逻辑由业务管理系统从营销管理系统同步基础参数,并将基础参数上送至云上主链,同时,通过云边协同平台下发

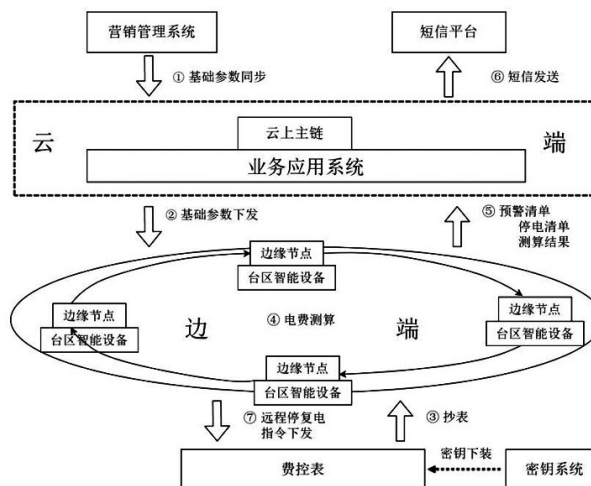


图7 智能费控业务逻辑图

至边缘侧区块链。另外,台区智能设备通过旁路接入表计,采集表码数据,并进行表码数据解析,将解析后的数据上传至边缘侧区块链。获取到基础参数和表码数据后,台区边缘链上自动触发电费测算及余额比对智能合约,完成用户电费的测算及余额比对(比对结果作为台区智能设备侧的费控管控指

令生成依据),生成并将用户电费测算结果、停电清单、预警清单上传云上主链存储及业务管理系统应用。针对费控过程中的各类短信通知,由营销系统从区块链平台查询后,完成短信发送。具体业务实现流程如图8所示。

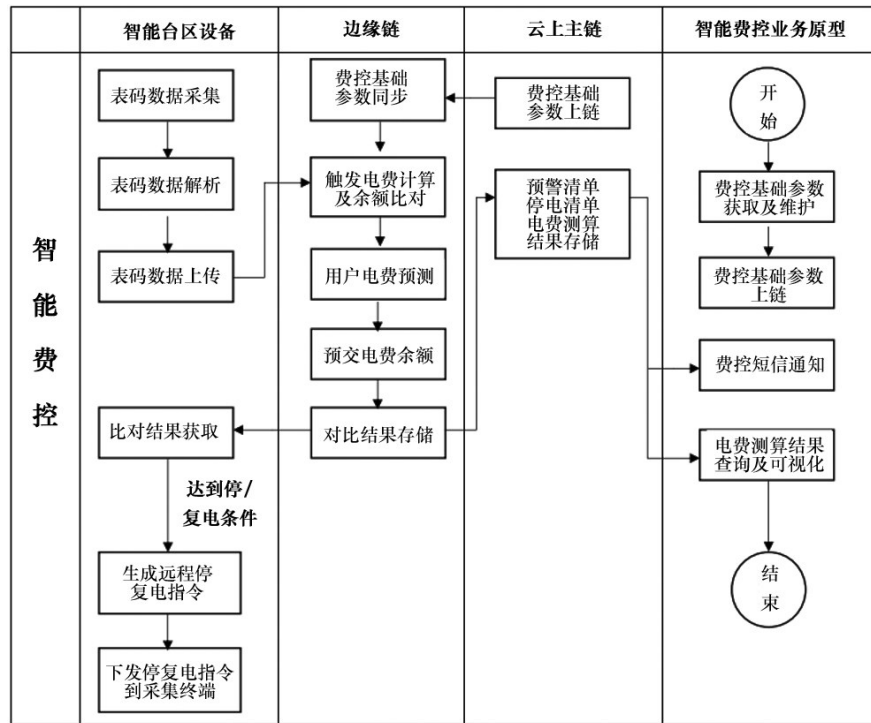


图8 智能费控业务实现流程示意

智能费控业务应用包括基础参数管理、用户电量计算、用户电费测算、预收电费余额告警远程停复电管理、费控短信服务6大模块(图9)。其中,基础参数管理可以从现有营销管理系统或采用数据文件直接导入的形式获取费控档案数据,并对档案

数据进行统一管理及维护;同样也支持从区块链下载费控档案数据并存储至台区智能设备。用户电量计算通过智能台区设备对接现有采集终端,采集表码数据并进行解析计算。用户电费测算则主要基于抄见电量和智能合约进行测算,测算完成后将

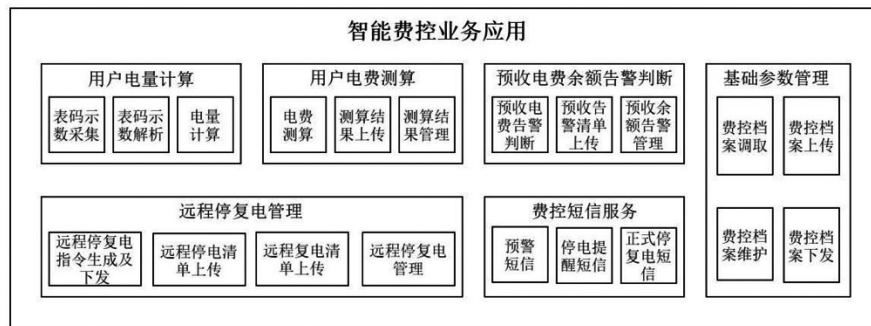


图9 智能费控业务应用

测算结果上链存储,供其他业务查询应用。预收电费余额告警模块可以将电费测算结果与用户结算户余额进行对比分析,根据结果完成停电或复电的智能控制。远程停复电管理是平台生成控制指令后通过台区智能设备下发,对计量控制表计/终端进行拉闸或复电操作。预警短信(用户)、停电提醒短信(用户)、正式停电短信(网格员)、复电短信(网格员)等短信可由平台直接调用短信平台的短信发送服务。

智能费控业务其中一个重要的衡量指标是实时性,即能否做到台区侧采集的终端数据的实时计算和传输,实现用户体验的提升。考虑不同数目的边缘终端场景下,有无边缘计算应用对费控业务性能的影响,如图 10 所示,可以看到,终端设备数目低于 15000 时,基于云服务和基于边缘计算的应用平台二者在服务时延性能指标上基本相同,时延与终端数目近似呈线性关系。当终端数目逐渐增多时,可以明显观察到基于云服务的应用平台所经历的服务时延大幅增加,近似呈指数增长。出现该现象的核心原因是数据流量的增加使终端——云服务器的负载达到饱和,虽然云服务器的算力充足,但通信链路已经达到传输瓶颈。相比而言,在边缘计算辅助下的应用平台中,边缘节点对数据进行初步计算处理,可大幅降低台区所需上传的数据量,从而缓解了通信链路容易饱和的缺点。

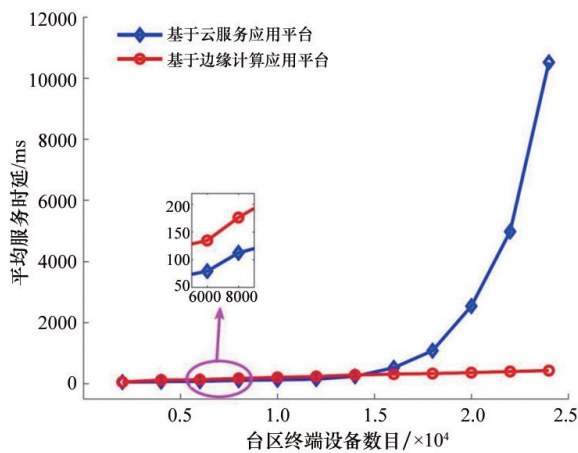


图 10 基于云服务和基于边缘计算的应用平台平均服务延时对比

### 2.2.2 多方电费对账业务应用的设计

多方电费对账业务由营销、财务、银行三方参与,需开展营销银行对账、财务银行对账以及营销财务对账、营销财务月末对账以及银企月末对账工作。基于区块链技术的多方电费对账业务实现思路是将营销、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,其业务逻辑如图 11 所示。具体实现由信息中心统一维护区块链节点,并通过应用程序接口(application programming interface, API)或其他方式统一将营销、财务、银行三方数据上链。

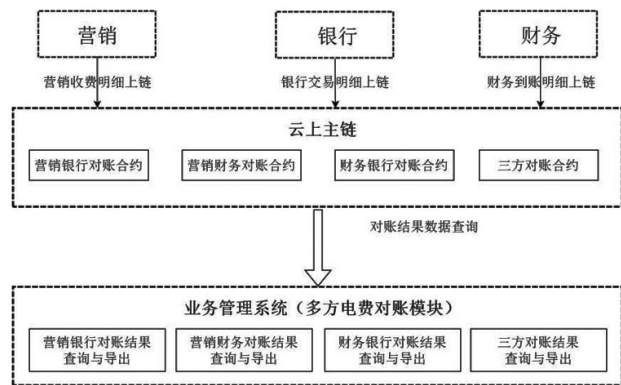


图 11 多方电费对账业务逻辑图

多方电费对账业务应用功能包括初始数据上链、云上主链自动对账合约以及业务管理系统的多方对账模块功能。具体业务流程如图 12 所示。

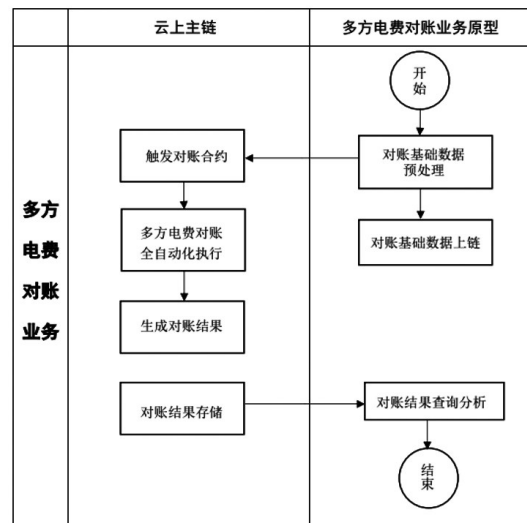


图 12 多方电费业务流程

多方电费对账业务应用包括基础参数管理、对账合约及结果管理、对账结果查询分析3大模块, 如图13所示。

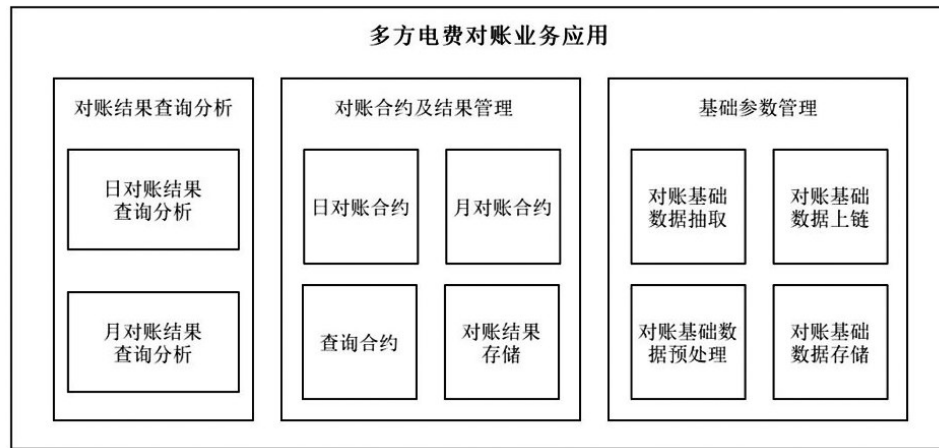


图13 多方电费对账业务应用

基础参数管理包括从现有营销管理系统、财务系统对接,完成营销收费数据、财务入账数据的抽取;对账基础数据预处理后上链基于智能合约完成全自动对账。对账合约及结果管理包括日对账、月对账的具体实施和数据打包上链,结果数据存储存储在区块链中。对账结果查询分析是定期从区块链平台进行数据的查询下载,并通过图表、列表等形式对对账结果数据进行直观展示。

对账业务应用平台的系统处理能力往往是由每秒事务数体现,具体定义为事务数/块时间。考虑边缘计算的应用对系统性能的影响,在台区终端设备数目低于14000时,基于云服务的应用平台可以在单位时间内处理更多的事务数,这是由云服务器强大的算力决定的。但是,当终端设备数目大于15000后,终端至云服务器的通信链路成为制约系统性能的瓶颈,每秒事务数增长缓慢,而基于边缘计算的应用平台将计算负载分散,从而对大规模终端系统表现出很强的鲁棒性(图14)。

### 2.2.3 智慧台区业务应用的设计

针对目前存在的问题以及台区精益化管理需求,智慧台区业务将从台区档案维护、精益线损、电压监测、负荷分析、停复电实时感知、异常识别等方面进行研究和规划。在不改变台区现行网络结构、数据采集结构的基础上,实现台区终端、电能表等计量设备数据的全量高频采集、处理、传输及存储,

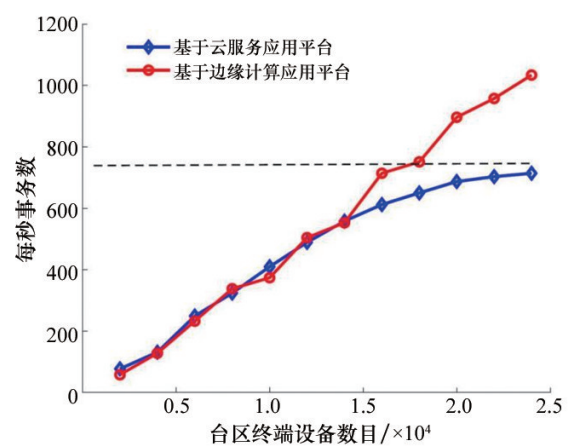


图14 基于云服务和基于边缘计算的应用平台每秒事务数对比

同时融合区块链技术应用,实现结果数据及异常、告警数据的上链存储,通过区块实现台区侧运行数据的共享,为多元化负荷管控需求、中低压台区全景感知、故障就地快速研判、电能质量优化提升、台区线损精益管控、低压精准运维、表计故障快速定位及抢修、恢复等配电网业务的灵活、快速部署实现提供高频、完善、可信的数据支撑。智慧台区业务逻辑图如图15所示。

智能台区设备能够对采集到的计量设备数据进行处理,数据处理将基于部署在智能台区设备的业务应用程序完成,业务应用程序功能包括台区拓扑识别、精益线损分析、末端电压监测、负荷分析、

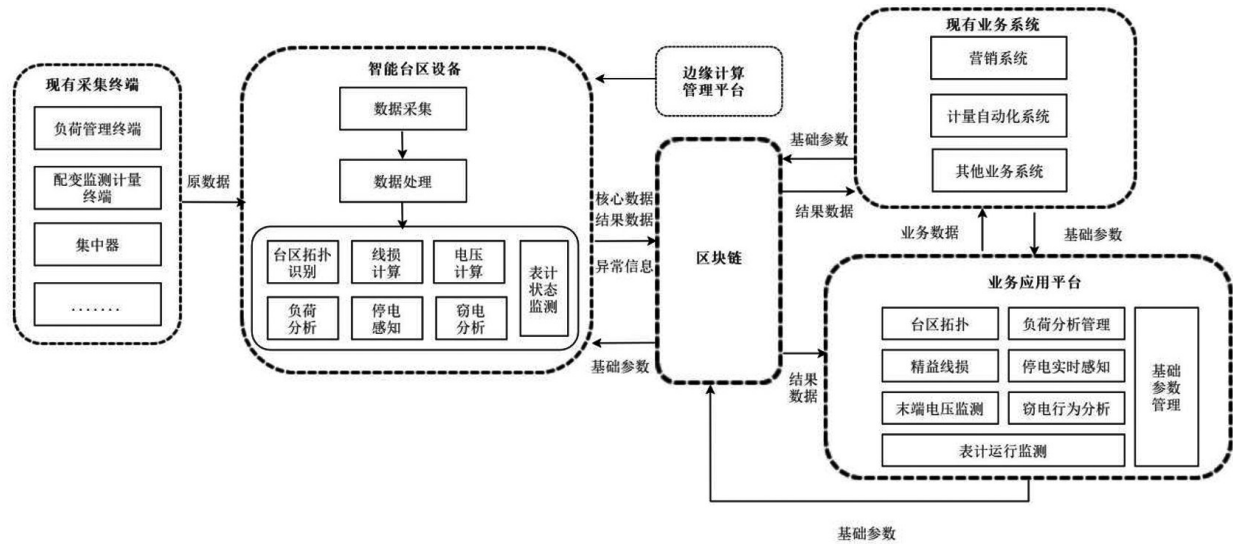


图15 智慧台区业务逻辑图

停电实时感知、用电量异常识别、表计运维等。

区块链作为数据的可信存储及共享平台,主要负责对智能台区设备上完成的原始采集数据、业务

分析结果数据、异常分析结果数据等核心数据进行存储,并向其他系统共享业务分析结果数据、异常分析结果数据等,总体业务流程如图16所示。

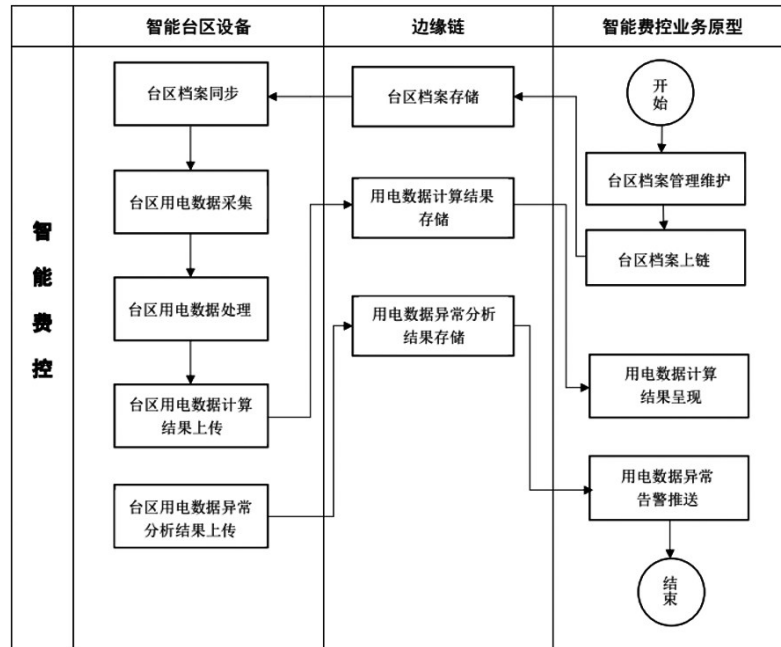


图16 智慧台区业务流程

智慧台区业务应用包括基础参数管理、台区用电数据分析挖掘、台区用电数据采集及计算3大模块(图17)。其中,基础参数管理主要涉及参数是台区的客户关系档案数据,功能包括档案抽取、维护、上链及下发。台区用电数据分析挖掘涵盖台区

拓扑识别解析、精益线损分析告警、末端配变出口电压分析告警、端户表电压数据分析告警、配电负荷分析告警、用电负荷分析告警、停电实时感知、用电异常研判告警、台区智能设备运行状态监测等具体功能。

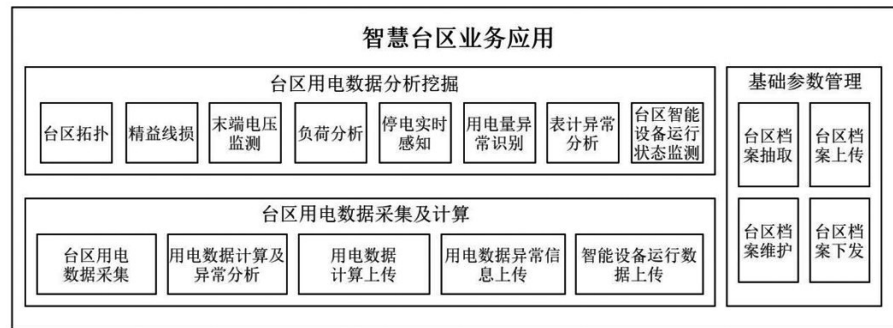


图17 智慧台区业务应用

台区用电数据采集及计算包含计量终端表计冻结表码数据采集、台区线损计算、配变负荷计算、用电数据计算结果上传、用电数据异常信息上传的功能模块。

通常认为数据采集与计算频率越高,系统性能越好,但在实际情况中存在数据采集频率与信息年龄之间的折中关系,这里的信息年龄是对数据上传与计算后所得信息新鲜程度的度量。图18展示了数据采集频率与信息年龄的关系。可以看到,在采集频率较低时,信息年龄较大,即信息实时性较差。但是随着采集频率的升高,信息年龄逐渐下降,这是由信息采集的时间颗粒度逐渐精细带来的好处。但是当采集频率达到一定阈值时,信息年龄不再降低,其根本原因在于边缘节点的计算能力是有限的,过高的采集频率会使得节点的计算达到饱和,此外,过高的采集频率提高了对台区终端设备的要求,会带来不必要的额外成本。因此在系统实际部署过程中,设置一个合适的数据采集频率具有重要的实际意义。

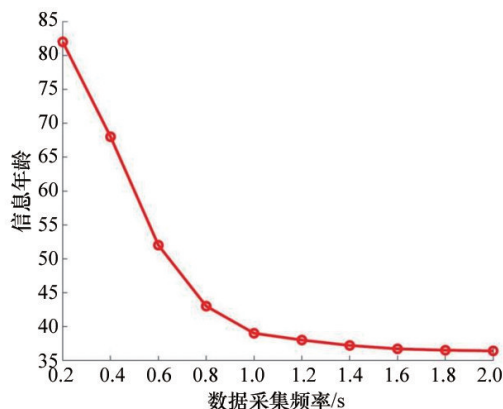


图18 数据采集频率与信息年龄关系

### 3 结论

在智能电网大发展的时代背景下,融合边缘计算与区块链等新技术的智慧用电平台能够在电网海量数据增长下,确保用电采集系统能采、能存、能算、能用、能管,助力用电平台的数字化和智能化。

本研究设计的基于边缘计算与区块链融合的智慧用电平台在技术架构上包括云端和边端边缘节点,由边缘节点在边端执行采集业务数据,上传云端进行分析;同时在边端形成各区块链,根据云端下发的合约进行数据上链存储,保证计算过程和计算结果可靠、可信、可追溯。在业务层面上智慧用电平台设计包括云端业务应用系统和边端业务应用,主要的应用包括智能费控业务、多方电费对账业务、智慧台区管理业务等,在这些主要业务中利用区块链作为数据的可信存储及共享平台,确保数据的可信存储以及为多主体间提供中立、可信、易用的平台,实现不同主体之间的协同,形成信息和价值的打通,产生跨网协同效应。以上智慧用电平台的研究和设计实现了电网用电侧边缘计算与区块链的融合应用,搭建的平台目前已经实际投入南方电网云南部分地区进行示范应用,系统的实时性和准确性较传统平台有了很大的提高,后续该智慧平台会进一步推广使用,以更好地服务于现代供电服务体系和多样互动的用电体系建设。

### 参考文献 (References)

[1] 鞠平, 周孝信, 陈维江, 等. “智能电网+”研究综述[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(5): 2-11.

- [2] 王守相, 葛磊蛟, 王凯. 智能配电系统的内涵及其关键技术[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(6): 1-6.
- [3] 张瑶, 王傲寒, 张宏. 中国智能电网发展综述[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(5): 180-187.
- [4] 张征, 赵培培. 智能电网控制系统的电网一体化控制方法研究[J]. 浙江电力, 2021, 40(8): 59-64.
- [5] 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.
- [6] 徐婉迪, 魏来, 罗俊, 等. 储能产业发展带来的能源革命及其关键管理科学问题[J]. 系统管理学报, 2021, 30(1): 191-197.
- [7] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(1): 7-11.
- [8] 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.
- [9] 包涛, 曹慧秋, 刘靓, 等. 电网数字化转型促进需求响应灵活高效[J]. 中国电力企业管理, 2021(10): 33-35.
- [10] 胡江溢, 祝恩国, 杜新纲, 等. 用电信息采集系统应用现状及发展趋势[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(2): 131-135.
- [11] Shi W S, Cao J, Zhang Q, et al. Edge computing: Vision and challenges[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2016, 3(5): 637-646.
- [12] 张聪, 樊小毅, 刘晓腾, 等. 边缘计算使能智慧电网[J]. 大数据, 2019, 5(2): 64-78.
- [13] 李彬, 贾滨诚, 陈宋宋, 等. 边缘计算在电力供需领域的应用展望[J]. 中国电力, 2018, 51(11): 154-162.
- [14] 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.
- [15] 金韬, 庄丽婉, 张晨, 等. 基于区块链的云边协同系统研究与设计[J]. 信息安全研究, 2021, 7(4): 310-318.
- [16] 赵晓晔, 龚文军, 张怡, 等. 基于区块链的电力市场交易结算智能合约分析[J]. 电工技术, 2023(14): 206-209.
- [17] 王海伟, 陈晨, 陈朔, 等. 基于Fabric区块链的多站融合电力资源管理系统设计与应用[J]. 电力需求侧管理, 2023, 25(3): 54-61.
- [18] 何永远, 庞进. 区块链技术在电力行业的应用展望[J]. 电力信息与通信技术, 2018, 16(3): 39-42.
- [19] 郑贵林, 余星焯. 基于边缘计算的智能用电管控系统设计及应用[J]. 电测与仪表, 2021, 58(8): 28-35.
- [20] 殷昱煜, 叶炳跃, 梁婷婷, 等. 边缘计算场景下的多层区块链网络模型研究[J]. 计算机学报, 2022, 45(1): 115-134.

## An intelligent electricity platform based on edge computing and blockchain integration

YANG Kaixing<sup>1</sup>, MAN Hongren<sup>2</sup>, LIU Xiu<sup>2</sup>, CHEN Chen<sup>2</sup>, LIU Xueping<sup>3</sup>, LI Jinyuan<sup>2</sup>, LI Wanqing<sup>4</sup>, LI Zhengxuan<sup>1</sup>

1. Kunming Power Supply Bureau of Yunnan Power Grid Co., Ltd., Kunming 650011, China

2. Information Center of Yunnan Power Grid Co., Ltd., Kunming 650011, China

3. Yunnan Yundian Tongfang Technology Co., Ltd., Kunming 650011, China

4. Digital Enterprise Branch of China Southern Power Grid Digital Power Grid Group Co., Ltd., Guangzhou 510000, China

**Abstract** Recently, the power industry has vigorously carried out the construction of smart grids; integration and application of new technologies has become a trend in the development of smart grids. Based on the actual business needs of the power grid side, this paper studies and designs an intelligent electricity platform by integrating edge computing and blockchain on a traditional platform, which changes the original centralized mode to decentralized mode, reduces cloud computing load, network pressure, and improves power data acquisition and efficient application capabilities by sinking acquisition and computing pressure. At the same time, edge computing is enabled by blockchain technology to achieve collaboration, security, trustworthiness and data sharing. This platform can achieve high real-time electricity cost calculation, electricity inspection, line loss analysis, voltage quality monitoring, and other lean electricity management needs, better serving the construction of modern power supply service systems and diverse interactive electricity systems.

**Keywords** edge computing; blockchain; fusion architecture; business applications; intelligent electricity platform



(责任编辑 傅雪)