

基于云边协同的充电设施协调控制系统设计

李映辰¹, 何宇斌¹, 何锡祺¹, 许丹莉¹, 陈州²

(1. 中国南方电网有限责任公司, 广州 510000;
2. 南京南瑞继保电气有限公司, 南京 211102)

摘要: 随着大规模充电设施的接入及其相关分析计算的日益精细化, 原有的监控系统无法适应相应的大规模数据处理需求, 因此文章提出基于云边协同的充电设施协调控制系统, 结合云边协同特点和充电设施控制需求, 构建了云端、边缘、充电设施聚合网关功能定位及交互模型, 云端对边缘、聚合网关进行统一管理, 接收采集信息并对控制系统分析计算服务进行管控和调度, 边缘对分布式充电设施进行数据采集和实时控制; 云边系统通过 Docker 容器技术实现服务器资源进行管理, 并提出了基于最小变化率的容器部署调度算法实现服务器负载均衡以及资源的高效利用; 所提系统实现了大数据通信压力下资源的有效分配, 满足电力系统数据采集和多时间尺度控制的需求; 最后给出所提系统的应用效果, 进一步通过实例验证了 Docker 容器及其部署调度算法在资源管理方面的适应性和高效性。

关键词: 云边协同; 充电设施; Docker; 系统; 协调控制

Collaborative Control System Design of Charging Facilities Based on Cloud Edge Collaboration

LI Yingchen¹, HE Yubin¹, HE Xiqi¹, XU Danli¹, CHEN Zhou²

(1. China Southern Power Grid Co., Ltd., Guangzhou 510000, China;
2. NR Electric Engineering, Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: With the access of large-scale charging facilities and increasing refinement of related analysis and calculation, original monitoring systems cannot adapt to large-scale data processing requirements. Therefore, this paper proposes a collaborative control system of charging facilities based on cloud-edge collaboration. By combining the characteristics of cloud-edge collaboration and control requirements of charging facilities, it constructs the functional positioning and interaction model of the cloud, edge and charging facilities, the cloud manages the edge and aggregation gateway uniformly, the cloud system receives the collected information to analyze and calculate the service management and scheduling for control systems. The edge system performs the data acquisition and real-time control of distributed charging facilities. The cloud edge system manages server resources through the Docker container technology. It propose a container deployment scheduling algorithm based on minimum change rate to achieve the server load balancing and efficient use of resources. The proposed system realizes the effective allocation of resources under the pressure of big data communication, and meets the needs of power system data acquisition and multi-time scale control. Finally, the proposed system further verifies the adaptability and efficiency of the Docker container and its deployment scheduling algorithm in resource management by examples.

Keywords: cloud edge collaboration; charging facilities; Docker; system; collaborative control

0 引言

随着分布式清洁能源发电 (DREG, distributed renewable energy generation)、分布式储能及电动汽车 (EV, electric vehicle) 等的快速发展。相较于传统电力系统阶段, 新能源互联网时代的清洁能源并网量大幅提高^[1-2]; 同时, 我国电动汽车的保有量也逐年大幅提高^[3-6], 因此, 设计更加高效的信息化电力能源管控平台系统架构, 用以支撑更加灵活的跨域电能互联调度、送受端调峰统筹以及用户需求侧响应, 是解决新能源管控问题, 保障电网安全稳定运

行的首要任务。

随着参与调度的利益主体日益多元化, 电力系统的运行特性和业务方式也正日益区别于传统电网, 在此背景下, 不同利益主体在多个时空尺度下的博弈互动是电网安全高效运行所必须考虑的问题, 然而这也将进一步导致电力调度过程及其分析计算的复杂化。EV 可视作一种可调节、可中断的电力负载, 以电价为衡量基础对电动汽车充电进行有序调度^[5-9]。文献 [10] 研究了电动汽车与调度平台经济效益的联合优化问题; 文献 [11] 在兼顾电动汽车用户、

收稿日期: 2023-06-12; 修回日期: 2023-07-20。

基金项目: 南方电网公司科技项目 (000000KK52200035)。

作者简介: 李映辰 (1993-), 男, 硕士, 工程师。

引用格式: 李映辰, 何宇斌, 何锡祺, 等. 基于云边协同的充电设施协调控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(6): 111-117.

调度平台以及电网运营商三者的联合经济效益需求的情况下对 EV 调度进行了优化；文献 [12] 研究了多主体主从博弈的负荷聚合商经济优化模型；文献 [13] 利用独立马尔可夫过程理论对 EV 到达速率、清洁能源发电量以及大电网电价的不确定性进行了建模，研究了基于成本问题的 EV 充电等待时间最小化问题；上述研究对充电设施的充放电调度策略的有序性做出了重要贡献，但在电动汽车用户群体日益庞大的背景下，日益精细和复杂的充电设施协调控制对数据处理能力的需求也越来越大，当前基于本地中心化的调度监控系统已无法满足大规模分布式充电设施的接入和调度需求。

云端及边缘计算依托虚拟化技术对海量存储和计算资源进行池化集中管理^[14]，实现了高性能高效的计算分析服务，可以解决新型电力系统对数据分析处理能力方面的需求，云平台及边缘计算在电力系统的调度和监控系统中已有一定的尝试性应用。文献 [15] 对边缘计算技术在智慧电网应用中的作用进行了研究；文献 [16-17] 将云平台应用于电网大规模静态安全分析计算；文献 [18] 探讨了云计算在电网生产、管理以及规划方面的应用，可以提升数字化系统对在线电网分析、精益调度管理的支撑能力；文献 [19] 研究了基于云平台的电网计算、存储资源运行机制，以解决电力系统大规模在线计算及分析的需求；相比于大电网的调度和监控系统，充电设施的调度和监控有着更鲜明的特点，充电设施对实时性要求更高，数据更为零散和庞大，这些都对充电设施相关数据处理架构提出了更高的要求，利用云边协同系统在灵活处理海量数据和合理管理计算资源方面的优势，满足大规模接入充电设施协调控制所需的数据处理需求，当前相关研究仍然较少。

本文针对聚合灵活调节性能的新能源及储能分布发电资源的充电设施的调度运行需求，构建充电设施云边协同的调度系统，分析并设计了云端控制、云边协同控制以及聚合商管理平台等主要功能，对容器控制、服务器负载均衡控制等关键技术也进行了分析和说明。最后通过应用实例对系统的优势和特点进行了验证。

1 充电设施云边协同控制系统架构

充电设施的不断增加，使得电网规划、运行和电力市场方面需要充分考虑其影响。充电设施因用户的不确定性具有很强的随机性，发、输、配电的容量设计都需要考虑充电设施的行为；良好的充电控制在当前可再生能源大量接入场景下可以丰富系统的调频调压手段^[20-21]；数量庞大且分散的电动汽车使得电力市场复杂程度大幅提升。为实现对充电设施的充分管控，提高电网整体的安全运行水平和运行效率，需要对数量庞大的充电设施进行状态监测与控制，为完成充电设施的合理控制，还涉及相关分析计算，典型的充电设施控制流程如图 1 所示，根据日前的负荷、发电预测数据以及 EV 模型，在一定的优化模型下制定日前调度计划，实时运行时根据实际的负荷和发电情况，对计

划进行调整，形成充电设施及储能的实时控制，从充电设施控制流程中可以看出，充电设施控制的分析计算主要包括充电设施负荷预测、潮流安全分析、储能充放电预测、调度优化计算等。

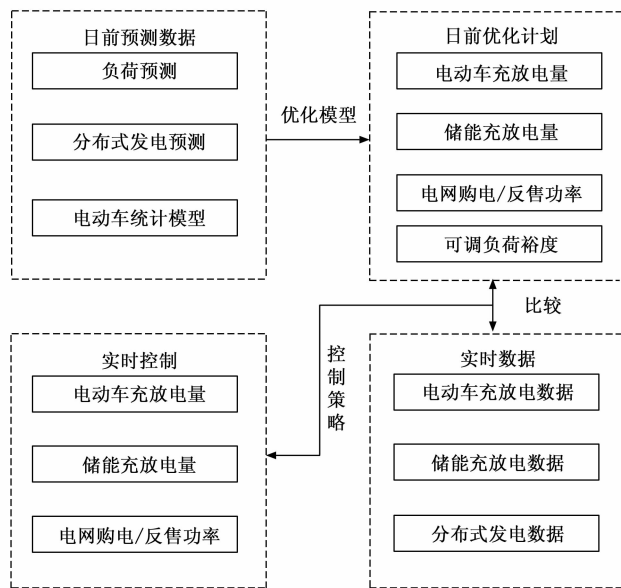


图 1 典型的充电设施控制流程

为完成上述监控、计算分析和控制任务，面对数量庞大、归属主体繁多、个体差异大的充电设施，需要在当前的调度系统中配置大量服务器和应用软件，成本较大，且软件更新、发布较为复杂，工作量大，不便于充电设施运行数据的统筹；而通过云边协同系统，可以突破现有调度层级的限制，不局限于网、省、地的限制，实现存储和计算资源的统一管控、分析算法的快速高效更新以及各级运行数据的快速汇集调用，也便于各种电力市场机制的展开，从而提高充电设施的整体运行水平和电网运行效率。

随着分布式清洁能源发电、分布式储能与 EV 数量的快速增长，充电设施协调控制系统需满足用户对平台规模、业务时延及服务可靠性等需求。为实现用户对新能源发电、储能及充电设施的协调管控，调度算法和对应的分析计算任务需要占用大量的计算资源，而云边协同的计算体系可以视为一种解决方案。为满足大规模充电设施接入、监视、预测、分析和协调控制的需求，并保证充电设施数据及协调控制功能的实时性、精确性、可靠性，所提基于云边协同的充电设施协调控制系统总体架构如图 2 所示，包括云端控制应用、边缘集群、聚合商边缘网关等模块，其主要内容包括：

1) 云端控制应用部署在云端系统，负责根据电力市场出清结果或调度控制需求计算并发布充电设施控制单元控制指令。

2) 充电设施的边缘集群为充电设施单元信息管理平台，由云边协同交互、云边协同应用以及原有的 OS2 主站系统共同组成，具备与聚合商进行就地互动控制和双向交

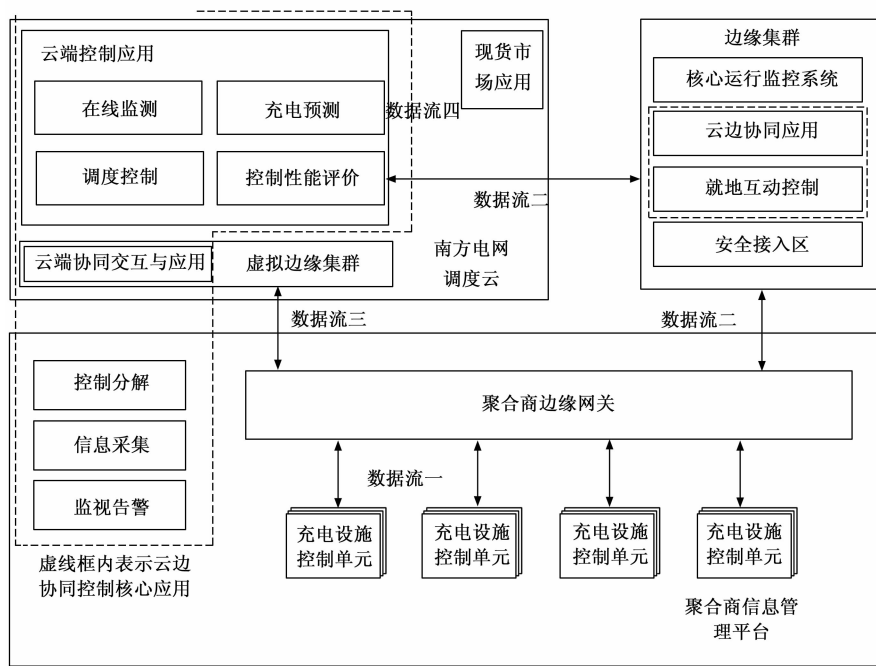


图 2 充电设施云边协同控制系统功能总体架构

互的转发功能。提供充电设施聚合商边缘网关的安全接入, 以及充电设施的监视、预测、分析和控制功能。

3) 虚拟边缘集群是在云端系统虚拟的边缘集群, 由云边协同交互、云边协同应用组成。提供充电设施聚合商边缘网关直接上云的安全接入, 提供充电设施的数据交互与监视功能。

4) 充电设施控制单元负责充电设施的聚合和管理, 并通过标准化的边缘网关接入边缘集群或虚拟边缘集群, 参与云端控制应用。控制单元的信息管理平台, 具备信息采集与报送、控制分解、监视告警等功能。

5) 边缘网关作为充电设施与云端控制应用交互通道, 对上接入边缘集群, 对下为海量充电设施接入云端提供入口, 边缘网关采用统一技术架构, 以标准化设计满足灵活接入和即插即用的使用需求, 实现大规模充电设施的快速、便捷、安全接入。

以边缘系统就近监控各充电设施, 并与云平台形成层级关系, 将数据采集共享、分析计算、计算资源配置等功能进行融合, 实现分布式充电设施的精准监测、合理调度, 进而提高新型电力系统的运行效率。

主要数据流包括:

1) 数据流一: 聚合商边缘网关与充电设施控制单元的数据流, 充电设施聚合商根据调度需求将充电设施进行聚合形成充电设施控制单元。充电设施控制单元向边缘网关发送充电设施的运行信息, 边缘网关向充电控制单元转发云端控制应用或边缘集群的控制命令。

2) 数据流二: 云端控制应用通过边缘集群与聚合商边缘网关纵向交互的数据流, 云端控制应用通过边缘集群与聚合商边缘网关通信, 采集充电设施运行数据, 向边缘网

关下发控制指令等。

3) 数据流三: 云端控制应用通过虚拟边缘集群与聚合商边缘网关纵向交互的数据流, 云端控制应用通过云端系统虚拟边缘集群与边缘网关通信, 采集充电设施运行数据, 下发控制指令等。

4) 数据流四: 云端控制应用与现货市场应用交互数据流, 在非现货市场环境下, 云端控制应用从现货市场应用中获取市场主体申报信息; 现货市场环境下, 云端控制应用从现货市场应用中获取市场主体的出清结果。

本系统通过 Docker 容器技术实现对云端及边缘端计算存储资源池进行统一管理, Docker 是一种轻量的虚拟化应用系统, 仅封装了应用程序所必需的系统文件, 相比普通虚拟机, 其创建、启动、结束和释放的过程更为快捷, 对资料的利用更加高效。Docker 另一个重要的优势是其运行的独立性, 其发布、修改、部署通过镜像生成实例完成, 只需对镜像进行修改即完成容器实例使用的改变, 相比传统虚拟机维护更加简单快速^[22-25]。Docker 容器是实现云边协同系统优势的主要载体, 通过 Docker 实现对云边协同系统海量计算资源的高效利用, 满足充电设施协调控制所需的计算分析需求。基于云边协同的充电设施控制系统中 Docker 的运行架构如图 3 所示, 容器的镜像的维护在云端系统, 云端和边缘系统都可运行容器进行计算分析, 云边系统共享充电设施调度应用 Docker 容器镜像, 云端或边缘的充电设施协调相关计算分析请求先发送至 Docker 代理和云端的资源调度系统, Docker 代理根据请求内容选取 Docker 容器镜像, 资源调度系统根据调度算法选定部署容器服务器, 进而在目标服务器动态创建容器实例, 计算完成后返回计算结果。容器系统支持多用户多容器实例并行运行, 并定时对容器状态进行查询并释放占用的容器资源。

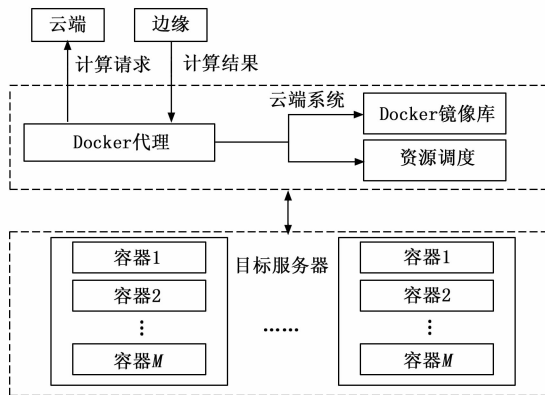


图 3 Docker 运行架构

2 系统实现

2.1 系统功能设计

首先对基于云边协同的充电设施协调控制系统的功能进行设计,功能设计包括云端控制应用、边缘集群、聚合商边缘网关等模块设计,是后续聚合商管理平台、任务调度的基础。为实现充电设施大规模监视、预测、分析以及云边协同控制的需求,保证协同控制功能的实时性、精确性以及可靠性,充电设施云边协同系统的功能及分工如下所述。

2.1.1 云端控制功能

1) 在线监测:通过与充电设施控制单元的数据交流对所接入充电设施控制单元运行状态进行在线监测,即监测控制单元数据传输通道的连续性,可靠性、累计充电量、放电量、响应情况、调节情况以及充电站的运行状况等。

2) 充电预测:通过分析充电设施控制单元的交流数据,对接入的充电设施控制单元进行充电负荷预测,预测涵盖了短期预测和超短期预测两种时间尺度。

3) 非现货市场下调度控制:根据调度发布的日前和日内削峰填谷需求确定总体控制目标,并根据可响应容量、可持续时间等信息,将总控制目标通过边缘网关分配给各充电设施控制单元执行。

4) 现货市场下调度控制:对所接入充电设施控制单元的现货市场场景的进行调度控制,能够接收现货市场出清结果,并按照出清结果,生成各充电设施控制单元的日前或实时控制计划曲线,通过边缘网关下发至充电设施控制单元执行。

5) 基线负荷制定:提供各充电设施控制单元的基线负荷和实际响应容量用于结算,实际响应容量由基线负荷与实际测量负荷之差确定。基线负荷的制定分为工作日、周末和节假日 3 种类型,选取不参与响应的同类型日负荷作为负荷样本,并求取平均值得到基线负荷。

6) 控制性能评价:对各充电设施控制单元开展控制性能进行评价,评价内容包括控制响应时间、调节速率和调节精度等。

2.1.2 云边协同控制

1) 系统监控:边缘集群监视所接入的所有聚合商充电数据的实时性、完整性、可靠性,具备有效的告警功能,保障接入云端控制应用的数据的有效性。

2) 协同交互:通过边缘集群与聚合商边缘网关的数据交流,完成聚合商与云端控制应用的信息贯通。边缘集群可以转发聚合商上送量测数据至云端控制应用或云端数据库,接收并转发云端控制应用下发的控制曲线至聚合商负荷管理平台,同时根据交互对象的需求,转换数据文件格式。

3) 协同控制:当边缘集群接入云端控制应用时,边缘集群应根据云端控制应用下发的指令及微电网实际可调能力,向微电网边缘网关分解下发调度计划,实现协同控制。当边缘集群未接入云端控制应用时,边缘集群应能够

根据自身需求及聚合商实际调控能力制定调度计划,并分解下发给聚合商边缘网关执行,实现独立调控。

4) 基线负荷制定:边缘集群在进行独立控制时,提供各充电设施控制单元的基线负荷和实际响应容量用于结算,实际响应容量由基线负荷与实际测量负荷之差确定。基线负荷的制定分为工作日、周末和节假日 3 种类型,选取不参与响应的同类型日负荷作为负荷样本,并求取平均值得到基线负荷。

5) 控制性能评价:边缘集群在就地互动控制时对充电设施控制单元的控制响应时间、调节速率和调节精度等性能指标进行评价。

2.2 聚合商负荷管理平台设计

充电设施协调控制系统中的聚合商负荷管理平是拥有聚合、管理、监控、调度充电设施功能的平台,部署在聚合商边缘网关,通过边缘网关与边缘集群建立通讯,完成控制单元数据上送,接收云端控制应用的控制指令并分解下发控制指令给具体充电设施执行。聚合商负荷管理平台的具体功能包括了信息采集与报送、监视告警、控制分解等。具体功能说明如下:

1) 信息采集与报送:聚合商符合管理平台负责将采集到的信息进行聚合,得到各充电设施控制单元的上报信息,并直接或间接收集所聚合的充电设施的状态、电压、电流、功率、车辆 SOC、需求电压、需求电流等调度控制所必需的量测值,同时收集充电设施的类型、可控状态、额定输出功率、最小输出功率等属性特性;通过评估充电用户收调度的意愿,形成充电设施最大、最小可调功率曲线。同时,聚合商负荷管理平台通过聚合商边缘网关完成充电设施信息的上报。

2) 监视告警:聚合商负荷管理平台监视充电设施的运行状态,当充电设施上报数据存在异常时及时感知并告警,保证上送边缘集群数据的可靠性。

3) 控制分解:聚合商负荷管理平台对下发给充电设施控制单元的控制命令进行分解,得到各充电设施的控制目标,并下发给充电设施执行。聚合商负荷管理平台监视各充电设施的实时功率和调节空间,滚动优化控制目标,满足控制性能要求。

3 最小变化率分配算法

随着电动汽车用户数量大幅增长,伴随的能源业务的数量和种类也在迅速增多,在此环境下,采用云边协同能够有效缓解巨大的计算和存储资源压力。然而,云边实体数增多,且部署更加分散后,充电用户业务调度难度增大,从而阻碍了云边资源利用率提升。在类似充电设施这样的电力能源系统,对时延的敏感程度较一般的物联网系统更高。因此,云边协同调度需要高效、安全且快速的资源分配算法,提高平台利用率的同时,尽可能降低充电用户的时延。本文的资源分配模型以资源利用率为核心,以降低用户时延为目标,对云边业务的响应速度与资源分配进行优化。

如前所述, 充电设施控制的分析计算主要包括充电设施负荷预测、潮流安全分析、储能充放电预测、调度优化计算等, 对于每个接入电网的聚合商来说, 其应用计算所需的资源需求在某一时间段内相对固定, 通过已有的计算容器的运行情况, 对其平均值进行计算, 可以得出每个最小调度单元所需计算容器对应的资源的需求值, 由此可以形成充电设施协调控制系统中各种计算分析容器所需的资源需求, 可用式 (1) 进行计算:

$$S_i = \{S_{1,i}, S_{2,i}, S_{3,i}\} \quad (1)$$

其中: S_i 为第 i 类型任务所需资源序列, $S_{1,i}$ 为对应的 CPU 资源使用量, 通过每秒百万指令数来衡量, $S_{2,i}$ 为对应的内存资源使用量, $S_{3,i}$ 为对应的带宽使用量, 以上都取多次运行后的平均值获得。

对于云边协同系统中的服务器计算资源也通过 CPU、内存和带宽 3 个方面进行评估, 其当前调度周期内可用资源及综合负载率的计算公式如式 (2) 所示:

$$\begin{cases} S_t = \{S_{1,t}, S_{2,t}, S_{3,t}\} \\ M_t = \frac{\left(3 - \frac{S_{1,t}}{S_{1,t0}} - \frac{S_{2,t}}{S_{2,t0}} - \frac{S_{3,t}}{S_{3,t0}}\right)}{3} \end{cases} \quad (2)$$

其中: S_t 为第 t 个服务器当前可用资源序列, M_t 为第 t 个服务器的综合负载率, $S_{1,t}$ 为 CPU 资源可用量, $S_{2,t}$ 为内存资源可用量, $S_{3,t}$ 为带宽可用量, $S_{1,t0}$ 为服务器 CPU 资源总量, $S_{2,t0}$ 为服务器内存资源总量, $S_{3,t0}$ 为服务器带宽总量。

根据当前服务器的运行状态监测数据, 选择综合负载率小于设定阈值的服务器作为待选服务器, 将综合负载率过高的服务器不作为待选对象。针对充电设施协调控制的相关分析计算包括多种不同计算类型, 每种计算类型都封装成 Docker 容器形式完成, 由此造成每种容器对服务器资源的需求的重点不同, 例如潮流计算与负荷预测的机器学习所需的 CPU 计算程度不同, 同时每种类型因充电设施聚合商体量的不同计算量也不尽相同, 为尽可能均衡服务器的综合负载率, 需要根据计算任务的不同需求及服务器当前的运行状态综合确定, 本文提出采用最小变化率算法进行容器的部署调度。

对当前调度周期内的待分配容器, 根据统计数据得到如式 (1) 所示的资源需求量, 将其与可分配服务器的资源可用量进行比较, 其计算公式如式 (3) 所示:

$$C_{i,t} = \frac{S_{1,i}}{S_{1,t}} + \frac{S_{2,i}}{S_{1,t}} + \frac{S_{3,i}}{S_{1,t}} \quad (3)$$

其中: $C_{i,t}$ 为第 t 个服务器接收第 i 个计算任务的综合资源变化率。

通过计算分析任务所需资源与当前服务器可提供资源的对比分析, 综合资源变化率最小的服务器意味着相对于其他服务器更合适分配计算任务, 更有利于服务器整体的负荷均衡, 因此适应于大规模计算任务情况下保证云边系统资源的合理分配。综合资源变化率最小的服务器的选取可由式 (4) 进行表示:

$$C_{i,m} = \min \left\{ \frac{S_{1,i}}{S_{1,t}} + \frac{S_{2,i}}{S_{1,t}} + \frac{S_{3,i}}{S_{1,t}}, t \in [1, M] \right\} \quad (4)$$

其中: m 为选中的目标服务器, M 为待选服务器总数。

综上所述, 基于最小变化率的容器部署调度算法流程如图 4 所示。

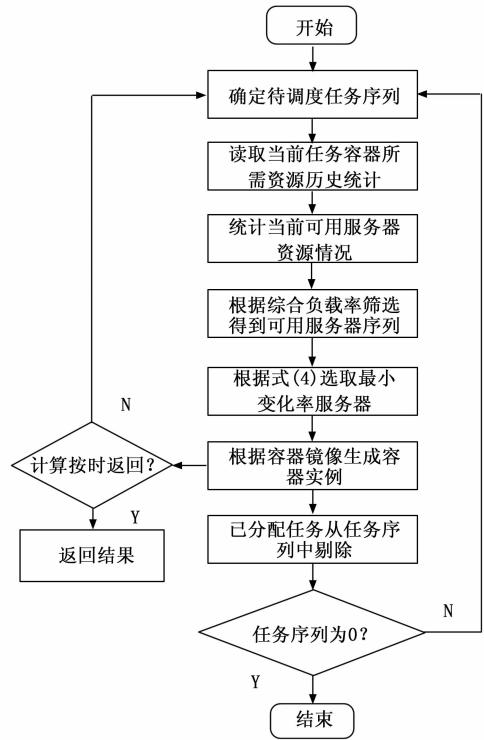


图 4 容器部署调度算法流程图

4 应用实例

本文采用的云边协同充电设施协调控制测试系统中的云系统由 5 台服务器组成, 另外分别采用 3 台服务器分别设置为 3 个边缘系统, 各个服务器采用 16 核处理器, 32 GB 内存。将电力系统已有的实际调度和预测曲线作为测试基础数据。

基于云边协同的充电设施协调控制系统界面如图 5 所示。从实际运行情况可以看出本文所提协调控制系统可以适应大规模充电设施接入后的控制。

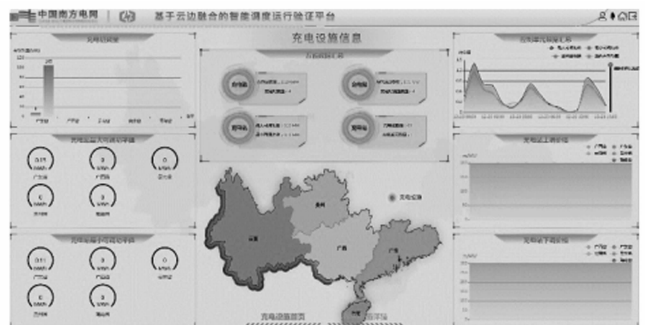


图 5 充电设施的云边协同系统界面

为体现本文所提云边协同系统相对原调度系统在数据集成、数据处理以及可扩展性方面的优势，将本文所提系统与在原调度系统中增加服务器的方式进行对比，对比结果如表 1 所示。

表 1 传统方案与云边系统对比

比较项	传统方案	云边系统
配置方式	每个调度中心单独配置服务器	集中配置一套调控云系统，网、省、地等可直接用作边缘服务器
服务器数量	多	少
数据传递	需安装客户端软件，在本地局域网内使用	Web 访问，各级调度用户通过纵向网络访问调控云系统
开放程度	专用接口开放程度低	微服务架构，方便第三方系统交互
可靠性	软件实现主备机制，缺乏底层支撑	云平台底层支撑高可用
扩展性	主备机模式，数据处理集中在调度节点，无法横向扩展	云平台结合容器技术根据计算分析任务进行高自由度扩展
应用更新	每个服务器都需要重新测试和发布，较复杂	更新容器镜像，测试后统一分布应用，较快捷

依据基于云边协同的充电设施聚合商参与电网调度的典型应用模拟曲线如图 6 所示。该典型应用基本流程如下所述，根据电网调度系统发布的日前调度曲线，结合地区内充电设施的日前功率预测以及最大可调能力的评估，将削峰填谷相关需求，例如响应时间区段、容量等发布给聚合商，聚合商需具备调节能力，包括充电设施、分布式储能等；其中充电设施的日前功率预测和最大可调能力评估均通过历史运行数据通过人工智能算法进行计算；待聚合商响应后，重新对相关电网进行安全校核，校核后下发更新后的调度曲线，并通过云边协同系统将调度任务下发至各用户执行。从图中可以看出，在 6:00~8:30 以及 17:00~21:00 负荷高峰时进行削峰调节，在 11:00~14:00 负荷低谷时加大电能使用。通过大数据采集及处理，达到电网调控进一步精细化。从实际运行情况可以看出本文所提协调控制系统可以与电网调度需求相适应。

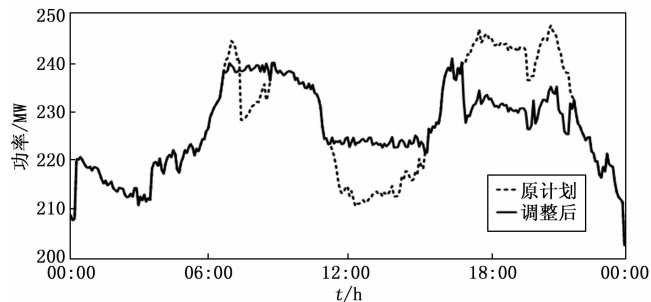


图 6 充电设施参与电网调度曲线

为分析容器技术对云边系统计算资源利用的有效性，

将同一台服务器中采用传统虚拟机技术与 Docker 技术支持的计算分析数目进行对比，具体对比数据如表 2 所示，从对比结果可以看出，容器技术有更强的并发能力，能更有效地利用服务器资源。

表 2 Docker 与虚拟机对比

计算模式	最大并发数	测试程序	CPU 使用率/%	内存使用率/%
虚拟机	20	40	54.3	69.8
容器	85	85	57.6	71.2

针对充电设施协调控制的不同计算类型，选取功率预测、潮流计算、充电设施调度 3 种不同类型的测试计算作为容器部署调度算法比较的基础，每种类型 10 个容器，以系统中 5 台服务器作为待分配服务器，任务序列为三类型为一组的循环，将本文的最小变化率容器部署调度算法（算法 1）与最小综合负载率调度算法（算法 2）以及最小连接数调度算法（算法 3）进行比较，最小综合负载率调度算法即将待分配的任务分配给当前综合负载率最低的服务器，最小连接数调度算法即将待分配任务分配给当前容器存在数最小的服务器，为显示本文所提调度算法的优越性，将 3 种算法在 CPU 和内存方面的平衡度进行比较，比较结果如图 7 所示，从图中可以看出，由于本文算法充分考虑了任务的不同资源需求，因此相比其他两种算法具有更好的负荷均衡度。

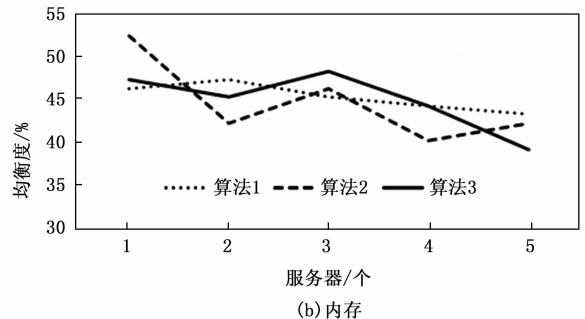
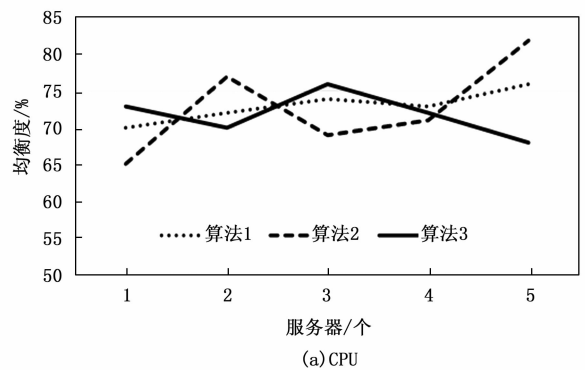


图 7 3 种算法均衡度比较

综合容器特性、容器部署调度算法以及充电设施协调控制系统的实际应用效果，本文提出的基于云边协同的充电设施协调控制系统具备大规模充电设施所需的大数据处理能力，依据 Docker 容器技术和考虑负荷均衡的调度算法，

充分发挥了容器技术的动态扩展能力, 提高了云边协同系统计算资源的利用效率。

5 结束语

针对 EV 及其充电设施的日渐普及带来的电网分析和调度复杂维度的高速提升, 提出基于云边协同的充电设施协调控制系统, 以云边协同作为大规模充电设施协调控制的分析计算平台, 通过 Docker 容器技术对云边系统的存储、计算资源进行统一管理, 对充电设施协调控制系统的总体架构、数据流和主要功能设计进行了设计, 并通过容器部署的优化调度进一步均衡云边系统服务器负荷率以及提高整体云边协同系统的资源利用率。从实际应用效果、容器优势和部署调度算法对比 3 个方面验证了所提系统保证充电设施数据及协同控制功能的实时性、精确性, 能够满足边缘大规模充电设施接入、监视、预测、分析和协调控制的需求。对利用云边协同技术提高新型电力系统整体运行效率方面进行了积极的探索。

参考文献:

- [1] 李钦豪, 张勇军, 陈佳琦, 等. 泛在电力物联网发展形态与挑战 [J]. 电力系统自动化, 2020, 44 (1): 13-22.
- [2] 何瑞文, 汪东, 张延旭, 等. 智能电网信息流的建模和静态计算方法研究 [J]. 中国电机工程学报, 2016, 36 (6): 1527-1535.
- [3] SHARMA S, JAIN P, BHAKAR R, et al. Integrated TOU price-based demand response and dynamic G2V charge scheduling of electric vehicle aggregator [C] //2018 8th IEEE India International Conference on Power Electronics (IICPE). IEEE, 2018: 1-6.
- [4] DAVIS B M, BRADLEY T H. The efficacy of electric vehicle time-of-use rates in guiding plug-in hybrid electric vehicle charging behavior [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2012, 3 (4): 1679-1686.
- [5] 詹祥澎, 杨军, 韩思宁, 等. 考虑电动汽车可调度潜力的充电站两阶段市场投标策略 [J]. 电力系统自动化, 2021, 45 (10): 86-96.
- [6] 杨景旭, 周来, 张勇军, 等. “专变共享”模式下考虑时变电价和转移概率的 EV 有序充电 [J]. 电力自动化设备, 2020, 40 (10): 173-180.
- [7] BASHASH S, MOURA S J, FATHY H K. Charge trajectory optimization of plug-in hybrid electric vehicles for energy cost reduction and battery health enhancement [C] //Proceedings of the 2010 American Control Conference. IEEE, 2010: 5824-5831.
- [8] JIN C, TANG J, GHOSH P. Optimizing electric vehicle charging: a customer's perspective [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2013, 62 (7): 2919-2927.
- [9] YU L, JIANG T, ZOU Y, et al. Joint energy management strategy for geo-distributed data centers and electric vehicles in smart grid environment [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2016, 7 (5): 2378-2392.
- [10] SAJID S, JAWAD M, QURESHI M B, et al. A conditional-constraint optimization for joint energy management of data center and electric vehicle parking-lot [C] //2019 Tenth International Green and Sustainable Computing Conference (IG-SC). IEEE, 2019: 1-6.
- [11] NADEEM A, RAFIQ M N, QURESHI M B, et al. Joint power management of telecom exchanges and electric vehicles using hybrid ac-dc microgrid [C] //2017 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT). IEEE, 2017: 127-132.
- [12] 龚诚嘉锐, 林顺富, 边晓燕, 等. 基于多主体主从博弈的负荷聚合商经济优化模型 [J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50 (2): 30-40.
- [13] ZHANG T, CHEN W, HAN Z, et al. Charging scheduling of electric vehicles with local renewable energy under uncertain electric vehicle arrival and grid power price [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2013, 63 (6): 2600-2612.
- [14] REN J, YU G, HE Y, et al. Collaborative cloud and edge computing for latency minimization [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2019, 68 (5): 5031-5044.
- [15] 李彬, 贾滨诚, 曹望璋, 等. 边缘计算在电力需求响应业务中的应用展望 [J]. 电网技术, 2018, 42 (1): 79-87.
- [16] 刘洋, 赵瑞锋, 李波, 等. 基于 Docker 技术的静态安全分析云计算应用 [J]. 电力科学与技术学报, 2021, 36 (4): 181-187.
- [17] 曹伟, 何伊妮, 唐羿轩, 等. 基于 Docker 与微服务的电力云分析计算服务系统 [J]. 供用电, 2020, 37 (8): 34-38.
- [18] 许洪强. 调控云架构及应用展望 [J]. 电网技术, 2017, 41 (10): 3104-3111.
- [19] 郭健, 周京阳, 李强, 等. 高性能在线分析计算现状与协同计算关键技术 [J]. 电力系统自动化, 2018, 42 (3): 149-159.
- [20] KHODAYAR M E, WU L, LI Z. Electric vehicle mobility in transmission-constrained hourly power generation scheduling [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2013, 4 (2): 779-788.
- [21] 郝丽丽, 王国栋, 王辉, 等. 考虑电动汽车入网辅助服务的配电网日前调度策略 [J]. 电力系统自动化, 2020, 44 (14): 35-43.
- [22] XU X, XUE Y, QI L, et al. An edge computing-enabled computation offloading method with privacy preservation for internet of connected vehicles [J]. Future Generation Computer Systems, 2019, 96: 89-100.
- [23] 陈丰琴. 基于 Kubernetes 集群容器资源调度策略的研究与设计 [D]. 成都: 西南交通大学, 2020.
- [24] MA LELE, YI SHANHE, CARTER N, et al. Efficient live migration of edge services leveraging container layered storage [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2018, 18 (9): 2020-2033.
- [25] SARKER M R, WANG J, LI Z, et al. Security and cloud out sourcing framework for economic dispatch [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2018, 9 (6): 5810-5819.