

基于云边协同的充电桩需求侧响应 技术研究

杜刃刃 肖孝天 王 城 黄元行 刘东杭 祝 炜 范俊秋
(贵州电网有限责任公司贵安供电局)

摘要: 随着大量电动汽车充电桩的并网运行,接入电网后会对电网产生极大的影响。在满足南方电网外部数据接入网络安全的前提下,边缘侧充电桩数据经Ⅲ型边缘网关动态接入能源互联网大数据云平台,能源互联网大数据云平台可动态获取外部充电桩数据,改进了外部数据传输方式,利用边缘网关在用户侧对充电桩海量数据进行就地处理,直接获取充电桩电力相关运行数据,去除无关冗余数据,极大减少数据量。最后,云平台基于贝叶斯正则化改进 MFNN 算法对充电桩数据开展日前短时负荷预测,云平台根据负荷预测结果,终端充电桩进行及时响应,有利于高效整合分布式集群能源,实现对电力需求的削峰填谷控制。

关键词: 充电桩; 边缘网关; 云边协同; 能源互联网平台

2024.04.DQGY
32

0 引言

随着社会资源、环境压力的逐年增大,利用清洁能源的设施备受关注,节能减排的电动汽车产业快速发展。随着电动汽车保有量持续增加,充电服务需求也迅速扩大,充电桩等充电基础设施大量建设。然而大规模充电桩接入电网会对安全稳定运行造成冲击,会导致电力负荷“峰上加峰”,甚至引发线路过载、网损增加等电力系统安全性风险^[1]。因此,在充电桩接入过程中,有必要加强对充电桩运行状况的监视,规避常规电网的负荷高峰期,有效、合理地分散电动汽车的充电负荷,最大程度降低对电网的冲击。

实现对充电桩运行状态的监控,依赖于充电桩与

能源互联网平台之间的数据传输。当前,充电桩的通信方式主要为有线和无线方式^[2]。有线方式的主要优点是数据传输可靠、网络容量大,缺点是布线复杂、扩展性差、施工成本高、灵活性差。传统充电桩在数据监测方面大部分通过有线方式实现,不能将采集的数据实时传送至用户与后台,具有很大局限性^[3]。

文献[4]介绍了云边协同的电力市场架构,虚拟运营商部署在云端,负责协调、管控电力市场出清的过程管控,分布式能源部署在边缘侧,预测分布式能源的自主调节能力,可通过实时数据检测实现电动汽车高效、有序充电管理。文献[5]通过对停车场中的电动汽车集群作为研究对象,提出用户负荷调整和充放电控制方案,基于动态规划算法电动汽车集群对各

时刻充放电方案进行规划，获取最优能源管控策略。文献 [6] 首先采用主成分分析法将高维度数据非线性进行降维，减少数据相关性对算法结果造成的影响，最后使用贝叶斯正则化改进 BP 神经网络算法，可动态自适应寻找最优神经网络参数，增加 BP 神经网络算法的泛化能力，但选用的数据量样本过少，出现过拟合现象，不具备普适性。

目前多数充电桩联网方式的数据传输问题一直困扰着能源互联网平台的利用，存在如下亟须解决的问题

1) 充电桩数据来自离线备份数据库，无法实时更新充电桩数据；

2) 离线备份数据库因自动备份时间设置的影响，导致定期备份充电桩数据库无法涵盖全部充电桩数据；

3) 离线备份充电桩数据经多个环节进行处理，能源互联网云平台接收到的充电桩数据时常出现中断、数据缺失等情况，不利于云边交互，对边缘侧负荷响应执行情况也无法及时回传至云平台。

针对上述问题，本文提出了一种基于Ⅲ型边缘网关的充电桩数据传输方式改进方法。该方法通过以下步骤实现：首先，在Ⅲ型边缘网关上搭建充电桩动态备份数据库，该数据库可以实现对充电桩主站服务器增量数据的实时动态更新；然后，将该动态备份数据库与离线备份充电桩数据库进行动态数据交互和动态校核；最后，云平台基于贝叶斯正则化改进 MFNN 算法对充电桩日前数进行短期负荷预测，通过云边动态交互，实现对电动汽车充电桩高效、有序充电管理。

1 Ⅲ型边缘网关传输充电桩数据总体设计

1.1 Ⅲ型边缘网关的功能

Ⅲ型边缘网关是第Ⅲ代边缘网关，它是连接大数

据云平台与边缘侧设备之间的网络设备，Ⅲ型边缘网关具备以下功能。

(1) 具备较强的数据聚合和处理的功能

Ⅲ型边缘网关将实时采集多个传感器和设备的数据，汇聚到统一的位置，可本地化对采集的数据进行实时的数据处理，识别和处理异常数据，智能执行决策并及时触发相应的功能，本地化快速响应，无需上传云平台进行统一处理。

(2) 具备本地存储的功能

Ⅲ型边缘网关具备本地存储的功能，可将边缘侧设备关键数据进行本地化存储备份，当边缘网关与云平台断开物理通信时，可稳定持续进行采集边缘侧设备数据，执行相关功能。

(3) 具备云集成的功能

Ⅲ型边缘网关具备本地存储的功能，可将处理后的关键数据传至云平台，减少了云平台海量计算的延迟性，云平台聚合各类边缘侧设备关键数据，后续云平台可根据各种场景应用进行存储、分析和可视化展示。

1.2 Ⅲ型边缘网关传输充电桩数据开发改进流程

针对离线备份充电桩数据在数据传输过程中存在的问题，采用以下方案进行处理，改进开发流程，如图 1 所示。

1) 基于Ⅲ型边缘网关搭建充电桩动态备份数据库与 MySQL 从库数据库直连，MySQL 从库提供特定数据接口，实现动态获取充电桩定制数据的功能；

2) 在Ⅲ型边缘网关搭建充电桩动态备份数据库，因Ⅲ型边缘网关直接连接充电桩主站服务器，可实时动态更新充电桩增量数据，解决了离线备份充电桩数据库的问题；

3) 自动化主站系统定时从Ⅲ型边缘网关调取充电桩数据，进而将充电桩数据传输至能源互联网大数据云平台。

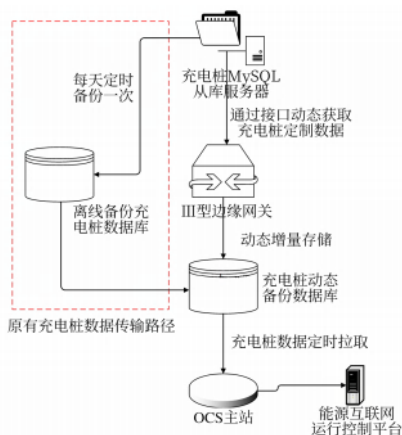


图1 III型边缘网关传输充电桩数据开发改进流程

2 基于能源互联网大数据云平台实现云边协同功能分析

2.1 能源互联网大数据云平台

能源互联网大数据云平台采用“六横一纵”的总体系统架构，大数据云计算、大数据分析处理和AI技术重新定义了电力能源云架构，极大地增强了云平台的资源监控、负载均衡和大数据处理的能力^[7]。大数据云平台采用微服务框架和容器式的系统结构，可实现对海量数据的分布式采集、分布式并行处理和分布式存储，规范模块接口设计，功能应用按需定制、按需迭代开发扩充，遵循相同接口规范的组件应用可实现即插即用。借助能源互联网大数据云平台，以中心云和边缘云拓展云边层级关系，进行云边协同处理，实现对全局资源负荷均衡，提高云平台处理数据和边缘侧就地实时响应的能力。

2.2 云边协同功能分析

(1) 基于贝叶斯正则化改进MFNN模型短期负荷预测

多层前馈神经网络(Multilayer Feedforward Neural Network, MFNN)，在电力系统中常用对发电计划和用户实际用能情况进行短期负荷预测。由于MFNN自身易陷入局部最优从而不具备全局的鲁棒性，针对当前MFNN算法存在的问题，提出了

基于贝叶斯正则化改进MFNN预测算法(Improve Multilayer Feedforward Neural Network, IMFNN)。贝叶斯正则化在MFNN算法训练过程中，对神经网络隐藏层参数进行概率建模和推理，以防止算法出现过拟合现象，提高算法的正确性和鲁棒性。其步骤如下所示^[8]：

1) 收集数据：收集神经网络的数据，用于训练MFNN神经网络模型，给定一组训练样本：

$$D = \{(s_1, t_1), (s_2, t_2), \dots, (s_m, t_m)\}$$

2) 定义先验分布：根据已知先验数据信息计算网络参数的先验概率分布。

3) 更新后验分布：利用收集的先验信息和先验概率分布，利用贝叶斯公式来更新神经网络参数的后验概率分布。

4) 计算损失函数：用于计算预测数据与先验数据之间的误差，一般情况下，MFNN算法的损失函数采用均方差损失函数：

$$E_D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - a_i)^2 \quad (1)$$

式中， n 为训练样本数， t_i 为期望输出值， $a_i=f(p_i)$ 为神经网络模型的实际输出值。

5) 优化损失函数：使用贝叶斯正则化优化MFNN算法的损失函数，通过优化MFNN算法的损失函数来自适应调整神经网络参数的后验概率分布，提高IMFNN算法的鲁棒性和全局的泛化能力。基于贝叶斯正则化优化MFNN算法，在传统均方差损失函数基础上，新增惩罚函数 E_w ，则损失函数变化为：

$$F = \alpha E_w + \beta E_D \quad (2)$$

式中，惩罚项 $E_w = \sum_{j=1}^n w_j^2$ ， w_j 为神经网络权值； α 和 β 为正则惩罚项系数。贝叶斯正则化在MFNN算法训练过程中，可自适应优化损失函数中的正则惩罚项系数 α 和 β ，求得在后验概率最大和损失函数最小的前提下，正则惩罚项 α 和 β 的最优解，从而在保证

精化神经网络规模的情况下，保证改进 MFNN 算法的泛化能力。

基于贝叶斯正则化改进 MFNN 算法的流程如图 2 所示。

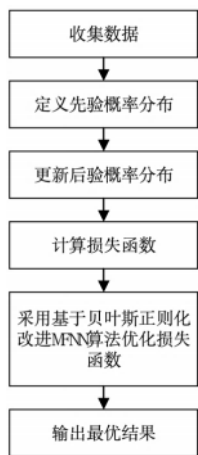


图 2 基于贝叶斯正则化改进 MFNN 算法的流程

(2) 基于贝叶斯正则化改进 MFNN 模型短期充电桩预测

本文选取贵安区域日前某一时段充电桩运行数据，能源互联网大数据云平台采用基于贝叶斯正则化改进的 MFNN 模型，对贵安区域充电桩运行数据进行日前短时负荷预测，对采集的日前充电桩历史数据进行负荷预测，基于能源互联网大数据云平台负荷预测曲线如图 3 所示。

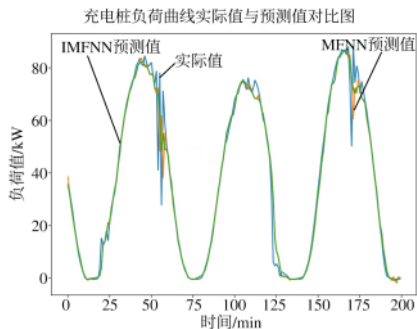


图 3 充电桩负荷曲线实际值与预测值对比图

采用 MFNN 模型与基于贝叶斯正则化改进 MFNN 模型对充电桩数据进行短时负荷预测的正确率

下表所示。

表 MFNN 与 IMFNN 算法预测正确率对比表

算法	正确率
MFNN 算法	0.16%
IMFNN 算法	0.05%

由图 2 和上表可知，采用基于贝叶斯正则化改进的 MFNN 算法对充电桩数据进行短时预测的相对误差仅为 0.05%，与 MFNN 算法相比，相对误差大幅度降低，取得较好的预测效果。

总体来说，该方案通过优化数据采集、备份和校验的过程，提高了充电桩数据管理的效率和准确性，为相关领域提供了有益的参考。能源互联网大数据云平台根据充电桩日期负荷预测情况，对Ⅲ型边缘网关下达各时刻的负荷出力计划，边缘侧充电桩在及时响应后，将响应执行情况回馈至云平台，实现集群动态的云边交互，通过边缘侧需求侧响应，可高效整合分布式能源，平滑电网负荷曲线，为后期的虚拟电厂的建设打下坚实的基础。

3 应用情况

目前，能源互联网平台通过Ⅲ型边缘网关实时接入贵安全域充电桩数据，实现了基于能源互联网平台对充电桩数据的应用开发。在此基础上，未来借助贵州省充电桩数据平台接入全省的充电桩数据，将使能源互联网运行控制平台具有更强的应用范围和泛化性，具备较高的项目推广前景。

同时，通过不断优化和完善能源互联网平台和边缘网关的数据处理能力，将进一步提高充电桩数据的利用效率和价值挖掘，为综合能源管控的发展提供强有力的支持。

4 结束语

基于充电桩平台接入能源互联网平台Ⅲ型边缘网

关传输方式改进，解决了离线采集充电桩备份数据库无法实时数据的采集问题，通过采用基于贝叶斯正则化改进的MFNN算法对充电桩数据进行短时负荷预测，与传统的MFNN算法相比，误差大幅度降低，取得较好的预测效果，为后续借助能源互联网平台对充电桩数据进行场景化功能应用打下了坚实的基础。

参考文献

- [1] 赵黄江，向月，刘俊勇，等. 基于改进配电网安全域的规模化电动汽车入网影响分析 [J]. 电力自动化设备，2021，41（11）：66-73.
- [2] 充电桩的通信方式 [J]. 智能建筑电气技术，2017，11（3）：62.
- [3] 王澄睿，蒙怡帆，周禧龙，等. 基于桩联网的智能充电监测装置设计与研制 [J]. 科学技术创新，2019（8）：65-66.
- [4] 彭超逸，陈文哲，徐苏越，等. 支持虚拟电厂提供灵活性爬坡服务的云边协同电力市场交易模型研究 [J/OL]. 上海交通大学学报：1-26[2023-09-20]. <https://doi.org/10.16183/j.cnki.jsjtu.2023.240>.
- [5] 董槟，张江燕，申铁龙. 基于需求的停车场电动车集群充放电管理策略 [J/OL]. 控制理论与应用：1-9[2023-11-15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1240.TP.20231114.1356.032.html>.
- [6] 袁颖，谭丁，于少将，等. 基于贝叶斯正则化改进BP神经网络的页岩气有机碳含量预测模型 [J]. 地质与勘探，2019，55（4）：1082-1091.
- [7] 程孟增，刘禹彤，商文颖，等. 基于能源路由器的智慧小镇能源互联网分区协同规划 [J]. 可再生能源，2023，41（11）：1528-1537.
- [8] 喻胜华，邓娟. 基于主成分分析和贝叶斯正则化BP神经网络的GDP预测 [J]. 湖南大学学报（社会科学版），2011，25（6）：42-45.

(收稿日期：2023-12-20)