



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116278903 A

(43) 申请公布日 2023. 06. 23

(21) 申请号 202310589331.2

(22) 申请日 2023.05.24

(71) 申请人 湘江实验室

地址 410221 湖南省长沙市长沙高新区尖山路217号北斗产业园1栋

(72) 发明人 张军号 徐雪松 姜林 李沁 彭晗 刘金金

(74) 专利代理机构 湖南兆弘专利事务所(普通合伙) 43008

专利代理师 胡君 邹大坚

(51) Int. Cl.

B60L 53/60 (2019.01)

B60L 53/62 (2019.01)

B60L 53/63 (2019.01)

B60L 53/65 (2019.01)

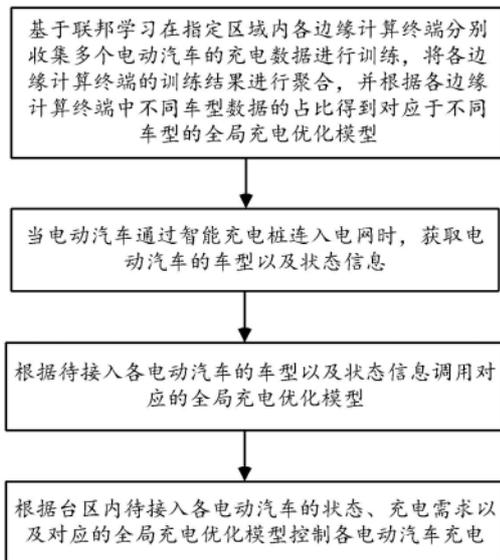
权利要求书3页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

基于联邦学习的电动汽车动态充电控制方法及系统

(57) 摘要

本发明公开一种基于联邦学习的电动汽车动态充电控制方法及系统,该方法步骤包括:基于联邦学习在指定区域内各边缘计算终端分别收集多个电动汽车的充电数据进行训练,将各边缘计算终端的训练结果进行聚合,并根据各边缘计算终端中不同车型数据的占比得到对应于不同车型的全局充电优化模型;当电动汽车通过智能充电桩连入电网时,获取电动汽车的车型以及状态信息;根据待接入电动汽车的车型以及状态信息调用对应的全局充电优化模型;根据台区内待接入各电动汽车的状态、充电需求以及对应的全局充电优化模型控制各电动汽车充电。本发明具有实现方法简单、成本低、能够实现数据隐私保护且充电效率与精度高、灵活性与可扩展性强等优点。



1. 一种基于联邦学习的电动汽车动态充电控制方法,其特征在于,步骤包括:

基于联邦学习在指定区域内各边缘计算终端分别收集多个电动汽车的充电数据进行训练,将各边缘计算终端的训练结果进行聚合,并根据各边缘计算终端中不同车型数据的占比得到对应于不同车型的全局充电优化模型;

当电动汽车通过智能充电桩连入电网时,获取待接入电动汽车的车型以及状态信息;

根据待接入各电动汽车的车型以及状态信息调用对应的所述全局充电优化模型;

根据台区内待接入各电动汽车的状态、充电需求以及对应的所述全局充电优化模型控制各电动汽车充电,所述充电需求包括充电时长以及充电方式。

2. 根据权利要求1所述的基于联邦学习的电动汽车动态充电控制方法,其特征在于,所述充电数据包括车型、充电开始时刻、充电结束时刻、总充电量以及电池荷电状态,还包括充电功率随时间变化的曲线、温度随时间变化的曲线、随时间变化的气温以及随时间变化的湿度中任意一种或多种,所述状态信息包括动力电池荷电状态、电池温度、当前气温和湿度、充电开始时间中任意一种或多种。

3. 根据权利要求1所述的基于联邦学习的电动汽车动态充电控制方法,其特征在于,所述基于联邦学习在指定区域内各边缘计算终端分别收集多个电动汽车的充电数据进行训练,将各边缘计算终端的训练结果进行聚合,并根据各边缘计算终端中不同车型数据的占比得到对应于不同车型的全局充电优化模型包括:

在各边缘计算终端对收集的充电数据进行数据预处理并按照车型进行分类;

将分类后的充电数据进行训练,得到对应不同车型的充电优化模型;

将各边缘计算终端训练得到的充电优化模型进行聚合,得到全局统一优化模型;

根据所述全局统一优化模型以及各边缘计算终端中不同车型数据的占比得到所述对应于不同车型的全局充电优化模型。

4. 根据权利要求3所述的基于联邦学习的电动汽车动态充电控制方法,其特征在于,所述对应于不同车型的全局充电优化模型的表达式为:

$$\begin{cases} P_s(M, t) = W_N \cdot G \\ W_N = \frac{1}{N} \left[ \sum_{n=1}^N [D_n(M) \cdot \{w_1 \ w_2 \ w_3 \ \dots \ w_I\}] \right] \\ G = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_I\}^T \end{cases}$$

其中,  $P_s(M, t)$  表示  $M$  车型电动汽车在  $t$  时刻的全局充电优化模型,  $D_n(M)$  表示在编号为  $n$  的边缘计算终端中参与模型训练的  $M$  车型数据组数  $b_n(M)$  在参与训练的全部  $M$  车型数量

$B(M)$  中的占比,即  $D_n(M) = \frac{b_n(M)}{B(M)}$ ,  $N$  表示边缘计算终端的数量,  $W_N$  表示权重向量,  $w_1$

$\dots$ 、 $w_I$  分别表示对应各影响因子的权重,  $G$  表示充电功率影响因子向量,  $g_1$ 、 $\dots$ 、 $g_I$  分别表示各影响因子,  $I$  表示影响因子数量, 上标  $T$  表示转置操作。

5. 根据权利要求1所述的基于联邦学习的电动汽车动态充电控制方法,其特征在于,所述根据台区内待接入各电动汽车的状态、充电需求以及对应的所述全局充电优化模型控制

各电动汽车充电包括：

根据待接入各电动汽车的状态以及对应的所述全局充电优化模型计算得到待接入各电动汽车的充电功率初值 $Pz$ ；

根据台区变压器压力系数 $a$ 、待接入各电动汽车的所述充电功率初值 $Pz$ 以及待接入各电动汽车的充电方式、所需充电时长调整待接入各电动汽车的充电功率，所述台区变压器压力系数 $a$ 为变压器当前功率 $Pd$ 与额定功率 $Pe$ 的比值。

6. 根据权利要求5所述的基于联邦学习的电动汽车动态充电控制方法，其特征在于，若台区内待接入电动汽车的充电方式均为充电效率优先，且 $(Pz+Pd)/Pe$ 超过第一预设比值，则根据待接入的各电动汽车已充电时间 $ty$ 、已充电电量 $Qy$ 和预计充电量 $Q$ 调整充电功率；若台区内部分待接入电动汽车的充电方式为充电效率优先、部分待接入电动汽车的充电方式为负荷调整优先，则调整台区内充电方式为负荷调整优先的各台电动汽车的充电功率。

7. 根据权利要求6所述的基于联邦学习的电动汽车动态充电控制方法，其特征在于，所述调整台区内充电方式为负荷调整优先的各台电动汽车的充电功率包括：每台电动汽车降低的充电功率为 $Pz/m_1$ ， $m_1$ 为充电方式为负荷调整优先的电动汽车的数量，若存在 $Pz/m_1 > a_0 P_y(n)$ 时， $P_y(n)$ 表示第 $n$ 辆电动汽车的调整前的原充电功率， $a_0$ 表示第二预设比值，则将该电动汽车充电功率降低 $a_0 P_y(n)$ ，超过部分由充电方式为充电效率优先的各台电动汽车进行调整。

8. 根据权利要求6所述的基于联邦学习的电动汽车动态充电控制方法，其特征在于，所述若台区内待接入电动汽车的充电方式均为充电效率优先，且 $(Pz+Pd)/Pe$ 超过第一预设比值时，调整充电功率的目标函数为：

$$J = Pz - \sum_{r=1}^{m_0} f(ty(r), Qy(r), Q(r))$$

其中， $r$ 为电动汽车的序号， $f(ty(r), Qy(r), Q(r))$ 表示第 $r$ 辆电动汽车降低的充电功率，约束条件为 $f(ty(r), Qy(r), Q(r)) < a_0 P_y(r)$ ， $m_0$ 为充电方式为充电效率优先的电动汽车的数量， $P_y(r)$ 表示第 $r$ 辆电动汽车的调整前的原充电功率， $a_0$ 表示第二预设比值；

所述若台区内部分待接入电动汽车的充电方式为充电效率优先、部分待接入电动汽车的充电方式为负荷调整优先时，调整充电功率的目标函数为：

$$J = \left( Pz - \sum_{i=1}^{m_1} [a_0 P_y(i)] \right) - \sum_{r=1}^{m_0} f(ty(r), Qy(r), Q(r))。$$

9. 根据权利要求1~8中任意一项所述的基于联邦学习的电动汽车动态充电控制方法，其特征在于，还包括在各电动汽车充电过程中，持续判断充电数据与实际充电数据之间的偏差，如果偏差在预设范围内，将充电数据传输至边缘计算终端以进行充电优化模型训练，实现基于联邦学习对电动汽车充电方案的迭代优化。

10. 一种基于联邦学习的电动汽车动态充电控制系统，其特征在于，包括：

多个边缘计算终端，分别用于基于联邦学习在指定区域内分别收集多个电动汽车的充电数据进行训练；

全局模型聚合模块，用于将各所述边缘计算终端的训练结果进行聚合，并根据各边缘

计算终端中不同车型数据的占比得到对应于不同车型的全局充电优化模型；

信息获取模块,用于当电动汽车通过智能充电桩连入电网时,获取待接入电动汽车的车型以及状态信息；

模型调用模块,用于根据待接入各电动汽车的车型以及状态信息调用对应的所述全局充电优化模型；

充电控制模块,用于根据台区内待接入各电动汽车的状态、充电需求以及对应的所述全局充电优化模型控制各电动汽车充电,所述充电需求包括充电时长以及充电方式。

## 基于联邦学习的电动汽车动态充电控制方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电动汽车充电控制技术领域,尤其涉及一种基于联邦学习的电动汽车动态充电控制方法及系统。

### 背景技术

[0002] 目前电动汽车充电通常是直接采用粗放式的阶梯功率充电方式,即通过充电桩根据电动汽车的电池电量状态采用大功率或校功率充电,例如在电池电量较小时采用大功率充电,在电池电量较大时则采用较小功率充电。随着电动汽车的保有量不断增加,充电服务需求也在快速递增,而电动汽车的车型种类繁多,不同类型电动汽车的最佳充电曲线也会因动力电池的配置不同而存在较大差异,即便是相同车型在不同电池状态下的特性也会存在差异。传统直接采用粗放式的阶梯功率充电方式,就无法匹配不同车型的充电特性曲线实现最佳的充电,不仅会降低充电效率、增加用能成本,还会影响动力电池系统安全,已不能满足当前对电动汽车充电效率的需求以及节能减排等的要求。

[0003] 为解决上述问题,有从业者提出通过对电动汽车的充电状态进行监测,使用深度学习的方式训练电动汽车的充电预测模型,以提前预警电动汽车充电过程中的故障状态。但是采用深度学习的充电预测模型构建方式,需要上传大量用户的充电信息进行集中训练,会涉及用户数据的隐私问题,且获取大量用户的数据进行学习的成本也较高。

### 发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题就在于:针对现有技术存在的技术问题,本发明提供一种实现方法简单、成本低、能够实现数据隐私保护且充电效率与精度高、灵活性与可扩展性强的基于联邦学习的电动汽车动态充电控制方法及系统。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明提出的技术方案为:

一种基于联邦学习的电动汽车动态充电控制方法,步骤包括:

基于联邦学习在指定区域内各边缘计算终端分别收集多个电动汽车的充电数据进行训练,将各边缘计算终端的训练结果进行聚合,并根据各边缘计算终端中不同车型数据的占比得到对应于不同车型的全局充电优化模型;

当电动汽车通过智能充电桩连入电网时,获取电动汽车的车型以及状态信息;

根据待接入各电动汽车的车型以及状态信息调用对应的所述全局充电优化模型;

根据台区内待接入各电动汽车的状态、充电需求以及对应的所述全局充电优化模型控制各电动汽车充电,所述充电需求包括充电时长以及充电方式。

[0006] 进一步的,所述充电数据包括车型、充电开始时刻、充电结束时刻、总充电量以及电池荷电状态,还包括充电功率随时间变化的曲线、温度随时间变化的曲线、随时间变化的气温以及随时间变化的湿度中任意一种或多种,所述状态信息包括动力电池荷电状态、电池温度、当前气温和湿度、充电开始时间中任意一种或多种。

[0007] 进一步的,所述基于联邦学习在指定区域内各边缘计算终端分别收集多个电动汽

车的充电数据进行训练,将各边缘计算终端的训练结果进行聚合,并根据各边缘计算终端中不同车型数据的占比得到对应于不同车型的全局充电优化模型包括:

在各边缘计算终端对收集的充电数据进行数据预处理并按照车型进行分类;

将分类后的充电数据进行训练,得到对应不同车型的充电优化模型;

将各边缘计算终端训练得到的充电优化模型进行聚合,得到全局统一优化模型;

根据所述全局统一优化模型以及各边缘计算终端中不同车型数据的占比得到所述对应于不同车型的全局充电优化模型。

[0008] 进一步的,所述对应于不同车型的全局充电优化模型的表达式为:

$$\begin{cases} P_s(M,t) = W_N \cdot G \\ W_N = \frac{1}{N} \left[ \sum_{n=1}^N [D_n(M) \cdot \{w_1 \ w_2 \ w_3 \ \dots \ w_I\}] \right] \\ G = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_I\}^T \end{cases}$$

其中,  $P_s(M,t)$  表示M车型电动汽车在t时刻的全局充电优化模型,  $D_n(M)$  表示在编号为n的边缘计算终端中参与模型训练的M车型数据组数  $b_n(M)$  在参与训练的全部M车型数量

$B(M)$  中的占比,即  $D_n(M) = \frac{b_n(M)}{B(M)}$ ,  $N$  表示边缘计算终端的数量,  $W_N$  表示权重向量,  $w_1$

、 $\dots$ 、 $w_I$  分别表示对应各影响因子的权重,  $G$  表示充电功率影响因子向量,  $g_1$ 、 $\dots$ 、 $g_I$  分别表示各影响因子,  $I$  表示影响因子数量。

[0009] 进一步的,所述根据台区内待接入各电动汽车的状态、充电需求以及对应的所述全局充电优化模型控制各电动汽车充电包括:

根据待接入各电动汽车的状态以及对应的所述全局充电优化模型计算得到待接入各电动汽车的充电功率初值  $P_z$ ;

根据台区变压器压力系数  $a$ 、待接入各电动汽车的所述充电功率初值  $P_z$  以及待接入各电动汽车的充电方式、所需充电时长调整待接入各电动汽车的充电功率,所述台区变压器压力系数  $a$  为变压器当前功率  $P_d$  与额定功率  $P_e$  的比值。

[0010] 进一步的,若台区内待接入电动汽车的充电方式均为充电效率优先,且  $(P_z+P_d)/P_e$  超过第一预设比值,则根据待接入的各电动汽车已充电时间  $t_y$ 、已充电电量  $Q_y$  和预计充电量  $Q$  调整充电功率;若台区内部分待接入电动汽车的充电方式为充电效率优先、部分待接入电动汽车的充电方式为负荷调整优先,则调整台区内充电方式为负荷调整优先的各台电动汽车的充电功率。

[0011] 进一步的,所述调整台区内充电方式为负荷调整优先的各台电动汽车的充电功率包括:每台电动汽车降低的充电功率为  $P_z/m_1$ ,  $m_1$  为充电方式为负荷调整优先的电动汽车的数量,若存在  $P_z/m_1 > a_0 P_y(n)$  时,  $P_y(n)$  表示第n辆电动汽车的调整前的原充电功率,  $a_0$  表示第二预设比值,则将该电动汽车充电功率降低  $a_0 P_y(n)$ , 超过部分由充电方式为充电效率优先的各台电动汽车进行调整。

[0012] 进一步的,所述若台区内待接入电动汽车的充电方式均为充电效率优先,且  $(P_z + P_d) / P_e$  超过第一预设比值时,调整充电功率的目标函数为:

$$J = P_z - \sum_{r=1}^{m_0} f(ty(r), Qy(r), Q(r))$$

其中,  $r$  为电动汽车的序号,  $f(ty(r), Qy(r), Q(r))$  表示第  $r$  辆电动汽车降低的充电功率,约束条件为  $f(ty(r), Qy(r), Q(r)) < a_0 P_y(r)$ ,  $m_0$  为充电方式为充电效率优先的电动汽车的数量,  $P_y(r)$  表示第  $r$  辆电动汽车的调整前的原充电功率,  $a_0$  表示第二预设比值;

所述若台区内部分待接入电动汽车的充电方式为充电效率优先、部分待接入电动汽车的充电方式为负荷调整优先时,调整充电功率的目标函数为:

$$J = \left( P_z - \sum_{i=1}^{m_1} [a_0 P_y(i)] \right) - \sum_{r=1}^{m_0} f(ty(r), Qy(r), Q(r))。$$

[0013] 进一步的,还包括在各电动汽车充电过程中,持续判断充电数据与实际充电数据之间的偏差,如果偏差在预设范围内,将充电数据传输至边缘计算终端以进行充电优化模型训练,实现基于联邦学习对电动汽车充电方案的迭代优化。

[0014] 一种基于联邦学习的电动汽车动态充电控制系统,包括:

多个边缘计算终端,分别用于基于联邦学习在指定区域内分别收集多个电动汽车的充电数据进行训练;

全局模型聚合模块,用于将各所述边缘计算终端的训练结果进行聚合,并根据各边缘计算终端中不同车型数据的占比得到对应于不同车型的全局充电优化模型;

信息获取模块,用于当电动汽车通过智能充电桩连入电网时,获取待接入电动汽车的车型以及状态信息;

模型调用模块,用于根据待接入各电动汽车的车型以及状态信息调用对应的所述全局充电优化模型;

充电控制模块,用于根据台区内待接入各电动汽车的状态、充电需求以及对应的所述全局充电优化模型控制各电动汽车充电,所述充电需求包括充电时长以及充电方式。

[0015] 与现有技术相比,本发明的优点在于:

1、本发明通过利用联邦学习建立电动汽车的全局充电方式,先由各边缘计算终端收集多个电动车的充电数据进行本地训练,充分学习不同类型电动汽车的充电特性,再通过联邦学习模型将各个边缘计算终端得到的训练结果进行聚合,以将各电动汽车的充电需求数据进行集成分析,得到能够反映整体充电需求的全局充电优化模型,同时根据各边缘计算终端中不同车型数据的占比情况,可以得到对应不同车型的全局充电优化模型,由该模型可以快速、准确预测不同车型电动汽车充电时的特性,从而可以充分利用联邦学习方式对各类型电动车的充电方式进行优化,可以在确保用户数据隐私保护的前提下,实现对各类型电动汽车精准和智能的充电控制,有效提高不同类型电动汽车充电的效率和准确性,同时减少充电时间和成本,还能够避免对电网造成过大的负担。

[0016] 2、本发明通过根据电动汽车的状态从边缘计算终端调取对应的全局优化充电模型,基于全局优化充电模型确定出充电功率初值,同时结合台区变压器压力系数、充电站

接入情况以及用户充电需求对充电功率进行调整,能够实现对不同车型、不同状态的电动汽车实现最佳化充电。

### 附图说明

[0017] 图1是本实施例基于联邦学习的电动汽车动态充电控制方法的实现流程示意图。

[0018] 图2是本实施例基于联邦学习的电动汽车动态充电控制系统的结构原理示意图。

### 具体实施方式

[0019] 以下结合说明书附图和具体优选的实施例对本发明作进一步描述,但并不因此而限制本发明的保护范围。

[0020] 如本发明公开所示,除非上下文明确提示例外情形,“一”、“一个”、“一种”和/或“该”等词并非特指单数,也可包括复数。本发明公开中使用的“第一”、“第二”以及类似的词语并不表示任何顺序、数量或者重要性,而只是用来区分不同的组成部分。同样,“包括”或者“包含”等类似的词语意指出现该词前面的元件或者物件涵盖出现在该词后面列举的元件或者物件及其等同,而不排除其他元件或者物件。

[0021] 联邦学习是一种可以在不暴露用户隐私的情况下进行分布式模型训练的机器学习方法。在联邦学习中,多个参与方将各自的本地数据用于模型训练,然后将训练结果进行聚合得到全局模型。本发明通过利用联邦学习建立电动汽车的全局充电方式,先由各边缘计算终端收集多个电动车的充电数据进行本地训练,充分学习不同类型电动汽车的充电特性,再通过联邦学习模型将各个边缘计算终端得到的训练结果进行聚合,以将各电动汽车的充电需求数据进行集成分析,得到能够反映整体充电需求的全局充电优化模型,同时根据各边缘计算终端中不同车型数据的占比情况,可以得到对应不同车型的全局充电优化模型,由该模型可以快速、准确预测不同车型电动汽车充电时的特性,从而可以充分利用联邦学习方式对各类型电动车的充电方式进行优化,可以在确保用户数据隐私保护的前提下,实现对各类型电动汽车精准和智能的充电控制,有效提高不同类型电动汽车充电的效率和准确性,同时减少充电时间和成本,还能够避免对电网造成过大的负担。

[0022] 如图1所示,本实施例基于联邦学习的电动汽车动态充电控制方法的步骤包括:

步骤S01、联邦学习模型建立:基于联邦学习在指定区域内各边缘计算终端分别收集多个电动汽车的充电数据进行训练,将各边缘计算终端的训练结果进行聚合,并根据各边缘计算终端中不同车型数据的占比得到对应于不同车型的全局充电优化模型。

[0023] 步骤S101.由各边缘计算终端收集多个电动汽车的充电数据,对收集的充电数据进行数据预处理并按照车型进行分类。

[0024] 充电数据具体包括车型、充电开始时刻、充电结束时刻、总充电量以及电池荷电状态,还包括充电速率、充电功率随时间变化的曲线、温度随时间变化的曲线、随时间变化的气温以及随时间变化的湿度等。上述各充电数据具体可以通过智能充电桩或布置的传感器进行采集,再将采集的数据上传至对应的边缘计算终端以进行本地训练。边缘计算终端可以是服务器、处理器、PC机等各类型设备,也可以采用充电站中配置的能够实现充电管理的充电管理系统实现。

[0025] 在具体应用实施例中,首先通过智能充电桩或其他传感器收集多个电动汽车的充

电数据,并传输至充电站对应的边缘计算终端,每一个电动汽车的数据组可表示为 $X=\{M, V_s, V_e, P(t), Q, C_L(t), C_T(t), T(t), H(t)\}$ ,其中 $M$ 表示车型, $V_s$ 表示充电开始时刻, $V_e$ 表示充电结束时刻, $P(t)$ 表示充电功率随时间变化的曲线, $Q$ 表示总充电量, $C_L(t)$ 和 $C_T(t)$ 分别表示电池荷电状态和温度随时间变化的曲线, $T(t)$ 表示随时间变化的气温, $H(t)$ 表示随时间变化的湿度。然后在各边缘计算终端对采集的充电数据进行数据清洗及处理,并将清洗后的数据依据车型 $M$ 进行分类处理,数据格式可表示为: $Y_M=\{M, P(t), Q, C_L(t), C_T(t), T(t), H(t)\}$ 。

[0026] 步骤S102.将分类后的充电数据进行训练,得到对应不同车型的充电优化模型。

[0027] 在本实施例中,基于充电恒功率模型 $P_S(t)$ 建立基于联邦学习的充电模型,充电恒功率模型 $P_S(t)$ 即为按照恒功率充电的模型,利用分类后的充电数据进行训练,即可得出不同车型的充电优化模型 $P_M(t)$ 。充电优化模型 $P_M(t)$ 的表达式具体可以为:

$$\begin{cases} P_M(t) = W \cdot G \\ W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_I\} \\ G = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_I\}^T \end{cases} \quad (1)$$

式中, $W$ 表示权重向量, $w_1, \dots, w_I$ 分别表示对应各影响因子的权重, $G$ 表示充电功率影响因子向量, $g_1, \dots, g_I$ 分别表示各影响因子, $I$ 表示影响因子数量。

[0028] 步骤S103.将各边缘计算终端训练得到的充电优化模型进行聚合,得到全局统一优化模型。

[0029] 在本实施例中,将各边缘计算终端将训练完成后的充电优化模型 $P_M(t)$ 上传至云端服务器,由云端服务器将各边缘计算终端训练的结果进行聚合,形成全局统一优化模型 $P_U(t)$ 。在云端服务器中仅需对各边缘计算终端得到的模型进行聚合,不需要交换电动汽车的本地充电数据,因而可以确保数据隐私保护。可以理解的是,上述云端服务器也可以为远程服务器、控制器、控制终端等其他类型设备。

[0030] 上述全局统一优化模型 $P_U(t)$ 即为针对于车辆型号未知情况下的充电优化,其计算方式可以表示为:

$$\begin{cases} P_U(t) = W_N \cdot G \\ W_N = \frac{1}{N} \left[ \sum_{n=1}^N \{w_1 \ w_2 \ w_3 \ \dots \ w_I\} \right] \\ G = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_I\}^T \end{cases} \quad (2)$$

其中, $N$ 表示边缘计算终端的数量。

[0031] 步骤S104.根据全局统一优化模型以及各边缘计算终端中不同车型数据的占比得到对应于不同车型的全局充电优化模型。

[0032] 全局统一优化模型 $P_U(t)$ 为针对于车辆型号未知情况下的充电优化,为精准得到针对于不同车型的全局充电优化模型,本实施例中进一步结合边缘计算终端中参与模型训练的各车型数据的占比情况,得到对应于不同车型的全局充电优化模型 $P_S(t)$ ,即为对已知车型的全局充电优化。对应于不同车型的全局充电优化模型 $P_S(t)$ 的计算表达式可表示为:

$$\begin{cases} P_s(M, t) = W_N \cdot G \\ W_N = \frac{1}{N} \left[ \sum_{n=1}^N [D_n(M) \cdot \{w_1 \ w_2 \ w_3 \ \cdots \ w_l\}] \right] \\ G = \{g_1, g_2, g_3, \cdots, g_l\}^T \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $P_s(M, t)$  表示  $M$  车型电动汽车在  $t$  时刻的全局充电优化模型,  $D_n(M)$  表示在编号为  $n$  的边缘计算终端中参与模型训练的  $M$  车型数据组数  $b_n(M)$  在参与训练的全部  $M$  车型数量  $B(M)$  中的占比, 即:

$$D_n(M) = \frac{b_n(M)}{B(M)} \quad (4)$$

云端服务器再将上述得到的全局充电优化方案  $P_M(t)$  下发至各边缘计算终端, 通过集成建立基于联邦学习的不同类型电动汽车的充电优化方案, 其中全局充电优化方案  $P_M(t)$  包含两类全局模型: 全局统一优化模型  $P_U(t)$  以及对应于不同车型的全局充电优化模型  $P_S(t)$ , 由全局统一优化模型  $P_U(t)$  针对车辆型号未知情况下的充电优化, 全局充电优化模型  $P_S(t)$  对应于各类型已知车型的全局充电优化。

[0033] 步骤S02. 信息获取: 当电动汽车通过智能充电桩连入电网时, 获取电动汽车的车型以及状态信息。

[0034] 在本实施例中, 状态信息具体动力电池荷电状态  $C_L$ 、电池温度  $C_T$ 、当前气温  $T$  和湿度  $H$ , 充电开始时间  $V_s$  等。当电动汽车通过智能充电桩连入电网时, 可以通过智能充电桩或者其他传感器识别电动汽车具体车型  $M$  并读取电动汽车上述状态信息。

[0035] 步骤S03. 模型调用: 根据当前电动汽车的车型以及状态信息调用对应的全局充电优化模型。

[0036] 通过步骤S01中已得到对应不同车型的全局充电优化模型  $P_S(t)$ , 则当有电动汽车需要连入电网时, 根据电动汽车的车型即可匹配出对应的全局充电优化模型  $P_S(t)$ , 匹配过程中综合状态信息可以进一步提高匹配精度, 以精准确定出适用于不同车型、不同车辆状态的全局充电优化模型  $P_S(t)$ 。

[0037] 步骤S04. 充电控制: 根据台区内待接入各电动汽车的状态、充电需求以及对应的全局充电优化模型控制各电动汽车充电, 充电需求包括充电时长  $t_s$  以及充电方式  $\beta$ 。

[0038] 在本实施例中, 充电方式  $\beta$  的取值为0和1, 0表示充电效率优先, 1表示负荷调整优先。充电需求还可以包括预计充电量  $Q$  等参数, 可以根据充电用户选择确定。

[0039] 步骤S401. 根据待接入各电动汽车的状态以及对应的全局充电优化模型计算得到待接入各电动汽车的充电功率初值  $P_z$ 。

[0040] 在本实施例中, 根据待接入电动汽车的动力电池荷电状态  $C_L$ 、电池温度  $C_T$ 、当前气温  $T$  和湿度  $H$ , 充电开始时间  $V_s$ , 基于待接入电动汽车对应车型的全局优化模型  $P_S(t)$  计算得到充电功率初值  $P_z$ 。

[0041] 步骤S402. 读取台区变压器压力系数  $\alpha$ , 根据台区变压器压力系数  $\alpha$ 、待接入各电动汽车的充电功率初值  $P_z$  以及待接入各电动汽车的充电方式调整待接入各电动汽车的充电

功率。

[0042] 在本实施例中,若台区内待接入电动汽车的充电方式均为充电效率优先,且  $(Pz+Pd)/Pe$  超过第一预设比值,则根据待接入的各电动汽车已充电时间  $t_y$ 、已充电电量  $Q_y$  和预计充电量  $Q$  调整充电功率,调整充电功率的目标函数为:

$$J = Pz - \sum_{r=1}^{m_0} f(t_y(r), Q_y(r), Q(r)) \quad (5)$$

其中,  $r$  为电动汽车的序号,  $f(t_y(r), Q_y(r), Q(r))$  表示第  $r$  辆电动汽车降低的充电功率,约束条件为  $f(t_y(r), Q_y(r), Q(r)) < a_0 P_y(r)$ ,  $m_0$  为充电方式为充电效率优先的电动汽车的数量,  $P_y(r)$  表示第  $r$  辆电动汽车的调整前的原充电功率,  $a_0$  表示第二预设比值。

[0043] 在本实施例中,若台区内部分待接入电动汽车的充电方式为充电效率优先、部分待接入电动汽车的充电方式为负荷调整优先,则调整台区内充电方式为负荷调整优先的各台电动汽车的充电功率。调整台区内充电方式为负荷调整优先的各台电动汽车的充电功率具体包括:每台电动汽车降低的充电功率为  $Pz/m_1$ ,  $m_1$  为充电方式为负荷调整优先的电动汽车的数量,若存在  $Pz/m_1 > a_0 P_y(n)$  时,  $P_y(r)$  表示第  $r$  辆电动汽车的原充电功率,  $a_0$  表示第二预设比值,则将该电动汽车充电功率降低  $a_0 P_y(r)$ , 超过部分由充电方式为充电效率优先的各台电动汽车进行调整,调整充电功率的目标函数具体为:

$$J = \left( Pz - \sum_{i=1}^{m_1} [a_0 P_y(i)] \right) - \sum_{r=1}^{m_0} f(t_y(r), Q_y(r), Q(r)) \quad (6)$$

本实施例通过根据电动汽车的状态从边缘计算终端调取对应的全局优化充电模型,基于全局优化充电模型确定出充电功率初值  $Pz$ ,同时结合电台区变压器压力系数  $a$ 、充电站接入情况以及用户充电需求对充电功率进行调整,能够实现对不同车型、不同状态的电动汽车实现最佳化充电。

[0044] 设待接入充电站的电动汽车为第  $M$  辆,即接入之前有  $M-1$  辆电动汽车在充电,其中充电方式  $\beta$  取值为 0 的数量为  $m_0$ ,则充电方式  $\beta$  取值为 1 的数量为  $m_1$ ,  $m_0 + m_1 = M$ ,以下以第一预设比值取 85%,第二预设比值取 40% 为例,上述实现电动汽车充电控制的详细步骤为:

若待接入电动汽车的充电方式为 0,当  $(Pz+Pd)/Pe \leq 85\%$  时,则按照计算所得功率  $Pz$  进行充电;

当  $(Pz+Pd)/Pe > 85\%$  时,若  $m_1 = 0$ ,即台区内电动汽车充电方式均为效率优先,则依据各电动汽车已充电时间  $t_y$ 、已充电电量  $Q_y$  和预计充电量  $Q$  调整充电方案,按照式 (5) 为目标函数进行调整,其中约束条件为  $f(t_y(r), Q_y(r), Q(r)) < 0.4 P_y(r)$ ,  $P_y(r)$  表示第  $r$  辆电动车的原充电功率,即降低的充电功率不能超过原充电功率的 40%;

若  $m_1 > 0$ ,则调整台区内充电方式为 1 的  $m_1$  台电动汽车充电方案,每台电动汽车降低的充电功率为  $Pz/m_1$ ;若存在  $Pz/m_1 > 0.4 P_y(r)$  时,即对原电动充电功率影响较大时,则将该电动汽车充电功率降低  $0.4 P_y(r)$ ,超过部分由充电方式为 0 的  $m_0$  台电动汽车进行调整,按照式 (6) 的目标函数进行调整。通过上述步骤可以实现各类电动汽车的最佳化充电。

[0045] 上述充电方案的动态调整具体可采用线性回归、粒子群以及遗传算法等机器学习方法实现。

[0046] 在本实施例中,还包括在各电动汽车充电过程中,持续判断充电数据与实际充电数据之间的偏差,如果偏差在预设范围内,将充电数据传输至边缘计算终端以进行充电优化模型训练,实现基于联邦学习对电动汽车充电方案的迭代优化。

[0047] 在具体应用实施例中,在充电过程中,充电站时刻与电动汽车保持通信,持续检测动力电池状态,对充电计划进行动态调整并记录充电数据,若出现充电数据异常状况,则将充电数据进行标记,送入边缘计算终端进行对充电模型进行训练,将重新训练完的模型送入云端服务器。充电数据的异常状况判断标准具体可以采用标准差法,不同充电功率下对应有不同的电池温度与荷电状态,经过数据清洗并统计计算其标准差;当实际充电数据中对应数据偏差在2倍到3倍标准差之间时,直接送入边缘计算终端进行对充电模型进行训练并通过云端服务器基于联邦学习方法对充电方案迭代优化;当实际充电数据中对应数据偏差超过其3倍标准差时,可进一步判别是否为无效数据,当判别为有效数据时,送入边缘计算终端进行对充电模型进行训练并通过云端服务器基于联邦学习方法对充电方案迭代优化;若判别为无效数据,则直接丢弃。可以理解的是,上述标准差判断范围具体可以根据实际需求配置。

[0048] 进一步的,还可以通过添加奖励机制以增加调控灵活性,例如将充电方式设置不同电价,设定效率优先电价高于负荷调整优先。智能充电桩可通过与充电管理系统的通信,实现自动化控制,存在阶梯电价时,增加充电成本优先选项,无阶梯电价时,则受配电台区整体负荷影响。

[0049] 进一步的,联邦学习模型建立过程中可以综合使用多种数据源,除充电数据以外,如还可以采用电池生产商对电池的测试数据、电动汽车生产厂家对电动汽车的测试数据等,以进一步提高充电计划的精确度和个性化程度。还可以在实际充电过程中,结合天气、电网与动力电池实时状态等动态优化充电方案,以进一步针对不同车型信息形成更为精准的个性化充电方案,减少充电成本、提高充电效率,降低充电对电网的影响。

[0050] 进一步的,还可以将联邦学习模型采用加密技术,以提高用户数据隐私保护和安全可靠。

[0051] 如图2所示,本实施例基于联邦学习的电动汽车动态充电控制系统包括:

多个边缘计算终端,分别用于基于联邦学习在指定区域内分别收集多个电动汽车的充电数据进行训练;

全局模型聚合模块,用于将各边缘计算终端的训练结果进行聚合,并根据各边缘计算终端中不同车型数据的占比得到对应于不同车型的全局充电优化模型;

信息获取模块,用于当电动汽车通过智能充电桩连入电网时,获取待接入电动汽车的车型以及状态信息;

模型调用模块,用于根据待接入各电动汽车的车型以及状态信息调用对应的全局充电优化模型;

充电控制模块,用于根据台区内待接入各电动汽车的状态、充电需求以及对应的全局充电优化模型控制各电动汽车充电,充电需求包括充电时长以及充电方式。

[0052] 在具体应用实施例中,上述边缘计算终端、模型调用模块以及充电控制模块通过充电管理系统实现,模型聚合模块可以由云端服务器等实现,即由充电管理系统收集多个电动汽车的充电数据并利用联邦学习模型得到不同车型的充电优化模型;模型聚合模块将

电动汽车的充电数据进行聚合和匿名化处理,并将匿名化的数据分配给多个参与方进行模型训练,以得到不同电动汽车的全局充电优化模型。由智能充电桩对电动汽车进行实时监控和管理,当智能充电桩获取到待接入电动汽车的车型以及状态信息时,通过与充电管理系统的通信,实现电动汽车充电的自动化控制。

[0053] 本实施例基于联邦学习的电动汽车动态充电控制系统与上述本实施例基于联邦学习的电动汽车动态充电控制方法为一一对应,在此不再一一赘述。

[0054] 本发明通过收集多个电动汽车的充电数据建立联邦学习模型,学习不同类型电动汽车的充电特性,并将各电动汽车的充电优化模型进行聚合分析,得到能够反映整体充电需求的全局充电优化模型,利用联邦学习有效优化不同类型电动汽车的充电方案,能够实现电动汽车充电的智能、高效控制,可以有效减少充电成本、提高充电效率,同时大大减小对电网的影响,且灵活性和可扩展性强,可以灵活适用于不同的充电场景和充电设备。

[0055] 上述只是本发明的较佳实施例,并非对本发明作任何形式上的限制。虽然本发明已以较佳实施例揭露如上,然而并非用以限定本发明。因此,凡是未脱离本发明技术方案的内容,依据本发明技术实质对以上实施例所做的任何简单修改、等同变化及修饰,均应落在本发明技术方案保护的范围内。

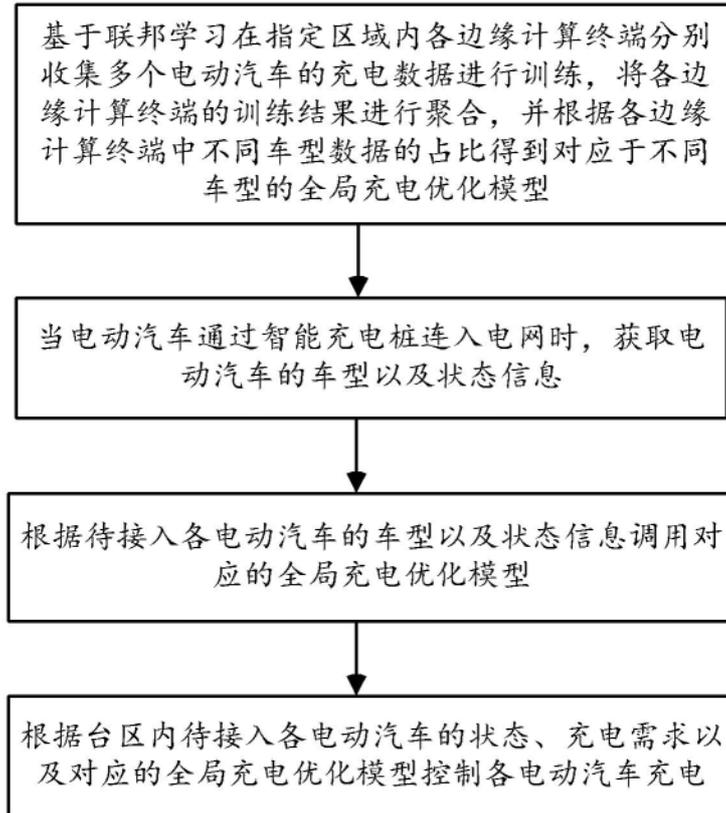


图1

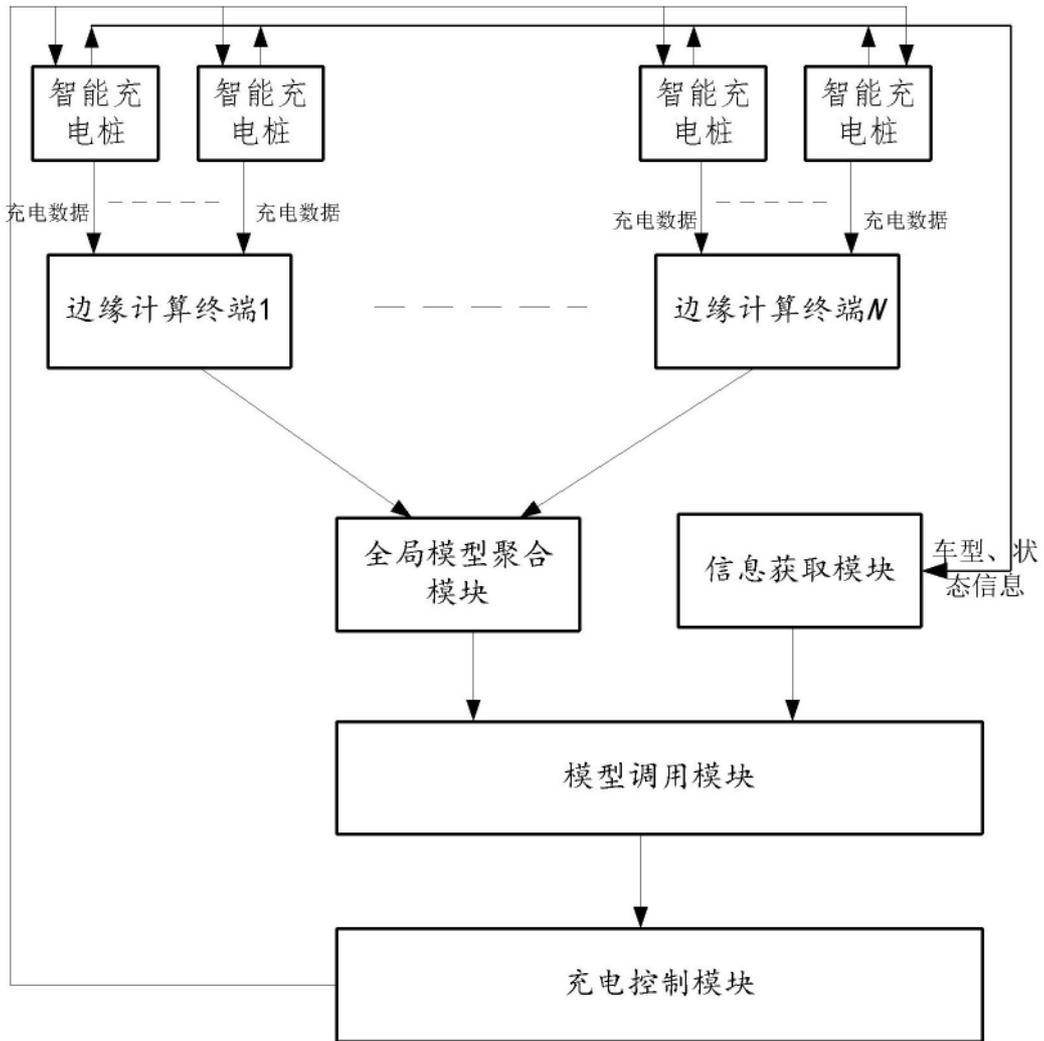


图2