

基于区块链的电动汽车充电桩共享平台策略

陶梦林¹, 王致杰¹, 付晓琳¹, 王 鸿²

(1. 上海电机学院电气学院, 上海 201306; 2. 同济大学经济与管理学院, 上海 200092)

摘要:针对充电桩数量不足、各充电桩运营商平台相互独立的问题, 提出基于区块链的电动汽车充电桩共享平台策略研究。首先, 分析采用区块链搭建平台的可行性, 建立基于区块链的电动汽车充电桩共享平台, 设计交易平台的工作流程与用户效用函数; 然后, 构建 3 层寻找充电桩策略, 以不同时段用户的不同成本需求最低为目标函数, 运用粒子群算法求解, 为电动汽车用户寻找最优充电桩; 最后, 利用 MATLAB 平台仿真。仿真结果表明: 采用区块链可提高平台的安全性、用户的效用函数; 3 层寻找充电桩策略能根据用户的不同需求匹配最优充电桩, 降低用户充电成本, 提高充电桩利用率, 降低晚间电动汽车集体充电数。

关键词:充电桩; 区块链; 共享平台; 3 层寻找充电桩策略

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2022.04.016 中图分类号: TM71 文章编号: 1673-9140(2022)04-0143-09

Research on sharing platform of EV charging piles based on block chain

TAO Menglin¹, WANG Zhijie¹, FU Xiaolin¹, WANG Hong²

(1. School of Electrical Engineering, Shanghai Dianji University, Shanghai 201306, China;

2. School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In order to solve the problem that the number of charging piles is insufficient and the platforms of each charging pile operator are independent, a strategy of sharing platform of EV charging piles based on block chain is proposed in this paper. Firstly, the feasibility of building platform with block chain is analyzed, then the electric vehicle charging pile sharing platform is established on the basis of block chain and the workflow of the trading platform and user utility function is designed. Secondly, a three-layer charging pile strategy is constructed to find the optimal charging pile for EV users by introducing the particle swarm optimization (PSO) algorithm. Finally, the simulation results show that the platform security can be improved by utilizing block chain, and the user utility function is improved at the same time. The three-layer charging pile strategy can find the optimal charging pile in terms of different needs of users. With the proposed strategy, the charging cost of users is reduced, the utilization ratio of charging post is increased and the collective charging number of EVs is reduced at night.

Key words: charging pile; block chain; shared platform; three-layer charging pile search

收稿日期: 2020-10-07; 修回日期: 2020-12-03

基金项目: 国家自然科学基金(11304200); 上海市自然科学基金(15ZR1417300)

通信作者: 王致杰(1964-), 男, 博士, 教授, 主要从事微电网智能控制和故障诊断方面的研究; E-mail: 2561867192@qq.com

为解决石油资源短缺、大气污染等问题,电动汽车迅速发展^[1]。目前,电动汽车的发展面临两方面的问题。

一方面,中国电动汽车数量远大于充电桩数量,截止到2019年12月,中国整体车桩比为3.4:1.0,其中私人充电桩占比高达60%,远低于《电动汽车充电基础设施发展指南(2015—2020)》规划的1:1^[2]。另外,《新能源汽车产业发展规划(2021—2035)》预计,到2030年中国电动汽车数量将达到6420万辆,即未来10年中国需新建6300万个充电桩,才能达到车桩比1:1的目标。可见,因充电桩不足而造成的电动汽车充电难的问题将长期困扰电动汽车用户,阻碍电动汽车的发展,充电桩共享已成为趋势。针对这方面问题提出建立充电桩共享平台,私人充电桩也纳入共享范围。

另一方面,特来电、星星充电是国内主要充电桩运营商,各运营商有其对应的服务平台,但平台之间相互独立,每个平台只能寻找其公司的充电桩,并且每个平台与电动汽车用户间的交易方式不同,造成支付复杂、交易困难的情况^[3]。因此,提出建立的平台可以接入多充电桩运营商。平台内车桩交易会生成庞大的数据,如果引入第三方中心机构,统一管理交易信息、支付记录等,需要消耗较高的成本,且中心化管理具有篡改数据、泄露信息的风险。针对这方面的问题提出采用区块链搭建平台的底层服务框架。区块链具有去中心化、防篡改、可信任的特点^[4],智能合约具有自动执行结算的特点,可有效改善上述问题。区块链已被广泛应用于能源互联网交易^[5-7]、微电网市场交易^[8-9]、电动汽车交易^[10-12]。

关于区块链和电动汽车的结合,已有不少学者做出研究。文献[13]提出了基于去中心化的动态电价逆向拍卖、组合拍卖V2G电力交易机制,提高了电力销售方的竞争力、社会福利及市场效率;文献[14]提出基于区块链的充电站充电权交易机制,充电站之间通过双向拍卖或P2P市场挂牌进行交易,实现了充电权的最大优化配置。以上文献只考虑了公共充电桩。文献[15]提出基于区块链的充电桩共享经济模式;文献[16]提出了基于区块链的共享充电桩方案设计。以上文献均未具体介绍私人充电桩接入的运营模式,且没有涉及电动汽车寻找充电桩

策略。

基于此,本文提出基于区块链的电动汽车充电桩共享平台策略研究。首先,分析采用区块链搭建平台的契合点,阐述该平台的经济性、安全性。其次,搭建平台模型,设计该平台的结构及工作流程。然后,提出三层寻找充电桩策略,采用粒子群优化算法寻找最优充电桩。最后,进行案例分析,仿真结果表明采用区块链可提高平台的安全性及用户效用函数;三层寻找充电桩策略能根据用户的不同需求匹配最优充电桩,降低用户充电成本,提高充电桩利用率,降低晚间电动汽车集体充电数量。

1 基于区块链的电动汽车充电桩共享平台

1.1 采用区块链搭建平台的契合点分析

区块链是区块按时间顺序相连而成的链式结构,类似于分布式账本,具有去中心化、可信任、防篡改、易扩展等特点,与电动汽车充电桩共享平台的建设思想相契合,如图1所示。通过对比区块链特性与充电桩共享平台应用特性找到二者的契合点,进而得出区块链共享平台的优势。

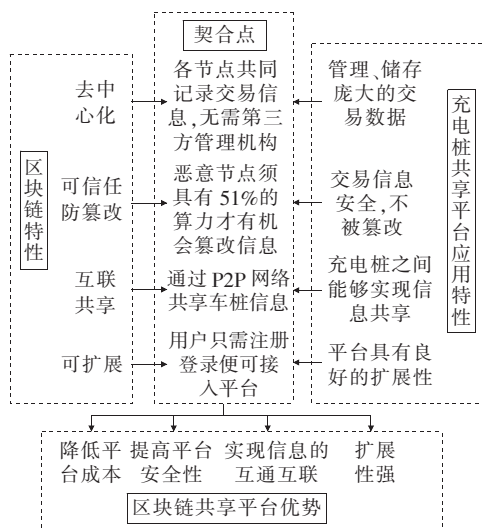


图1 平台与区块链的契合性分析

Figure 1 The fit analysis between the platform and blockchain

1) 区块链中各节点共同记录、储存车—桩交易信息,当某个节点信息遭到恶意破坏时,能复制其他节点信息进行恢复,无需第三方管理机构,信息可追

溯,降低了共享平台数据管理、储存成本。

2)当区块链中某个恶意节点想篡改交易记录,其必需具有 51%的算力才有机会成功,而当该节点有 51%的算力时,其充当诚实节点获得的利益多于充当恶意节点获得利益,该节点不需再由篡改信息获得利益,保证了交易信息不被篡改,提高了平台的安全性。

3)车、桩用户通过 P2P 网络发布信息,可实现信息共享;车、桩用户只需在用户终端注册登录便可接入平台成为节点,扩展性强。

1.2 平台模型架构

参考文献[16]中充电桩共享平台模型,在其基础上进行细化与改进,得到本文基于区块链的充电桩共享平台模型,如图 2 所示。

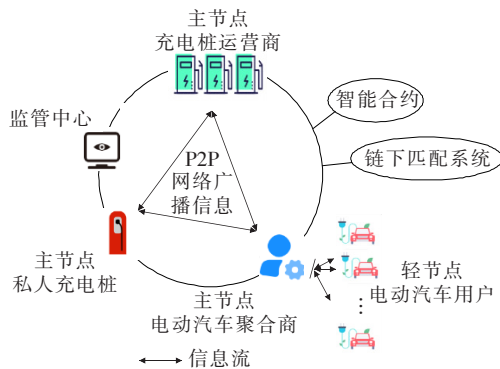


图 2 基于区块链的充电桩共享平台模型

Figure 2 Charging pile sharing platform model based on blockchain

主节点:记录平台完整的交易信息,具有较强的算力,支持查询功能。充电桩运营商、私人充电桩、电动汽车聚合商属于主节点。

轻节点:只记录和自身相关的交易数据。电动汽车用户属于轻节点。

监管中心:验证注册节点的真实性。

充电桩运营商:国内主要的充电桩运营商包括国网、特来电、星星充电等,平台支持各充电桩运营商接入,共享所有充电桩的运营数据,可打破各运营商间存在的信息独立的状态。

私人充电桩:私人充电桩占国内充电桩总数的 60%,白天有大量闲置的时间,拥有巨大的市场,将其接入平台既有利于缓解电动汽车充电难的问题,又可增加私人充电桩主的收入,提高桩的利用率,增加电动汽车用户的满意度。

电动汽车聚合商:用于统一管理电动汽车,负责将电动汽车用户发布的信息广播到各主节点,并将匹配结果广播到主节点和该电动汽车用户。

电动汽车用户:充电桩的使用者,发布信息,寻找符合信息的最优充电桩。

链下匹配系统:在区块链上进行所有交易会降低区块链的交易速度。因此,本文设计在链下进行电动汽车找桩过程,将最终的匹配结果广播到链上。

根据区块链架构^[17]而设计的基于区块链的电动汽车充电桩共享平台架构如图 3 所示,分为应用、业务、共识、网络以及数据层。数据层为基础层,存储着车一桩交易双方、交易时间、电量、电价等各种信息;网络层利用 P2P 网络广播信息,实现车一桩信息共享;共识层采用工作量证明机制(POW)实现共识,确保各节点数据一致,避免恶意节点篡改数据;业务层部署智能合约及链下匹配策略,此 3 层为核心层;应用层用于各节点注册、登陆、上传信息。

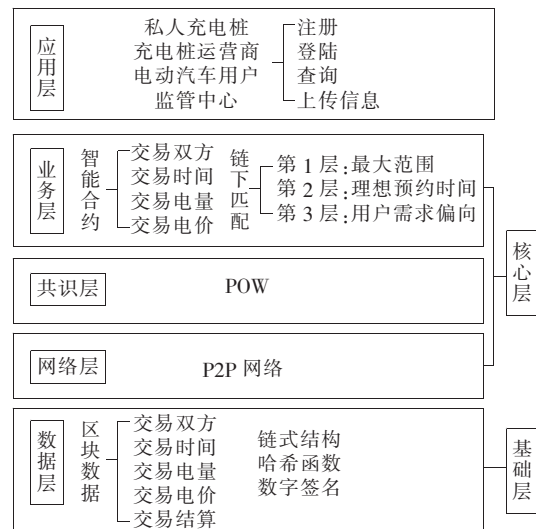


图 3 基于区块链的充电桩共享平台架构

Figure 3 Architecture of a charging pile sharing platform based on blockchain

1.3 平台工作流程

平台工作流程如图 4 所示,具体如下。

1)用户注册。用户注册时使用非对称加密算法创建公钥 P_{pub} 、私钥 P_{pri} ,然后填写身份信息,如充电桩型号、车型等,并将信息与 P_{pub} 一起发至监管中心。监管中心核实后将用户信息 P_{pub} 存入数据库,其他节点可以根据 P_{pub} 验证该节点的真实性。

2)信息发布。充电桩运营商、私人充电桩发布

信息,如地理位置、电价、可供预约充电时间、停车费用等,并将信息广播到各主节点。电动汽车用户发布信息至电动汽车运营商,由电动汽车运营商将信息广播到各主节点。电动汽车用户发布的信息包括电动汽车剩余电量、电动汽车期望获得的电量、当前所在位置、理想预约时间等。

3)链下匹配。对电动汽车运营商节点进行匹配,分3层匹配。首先,根据剩余电量找出电动汽车所能到达范围内的充电桩;然后,根据电动汽车用户的理想预约充电时间,找出可支持此段时间内充电的充电桩;最后,以电动汽车用户花费时间成本与经济成本最小为目标函数,采用粒子群算法对该模型求解,从而为电动汽车用户寻找最优充电桩。匹配成功后由电动汽车运营商将匹配结果广播到各主节点。

4)智能合约结算。当满足智能合约执行的条件时,即电动汽车用户在预约时间内进行充电,安装在充电桩终端的智能电表实时更新充电电量,并上传至智能合约。充电完毕后智能合约自动进行结算、转账、记录,并广播到各主节点,由算力强的主节点打包交易数据区块,形成区块链。智能合约内容包括交易双方用户名、交易地址、交易起始时间、交易电价、交易电量、交易费用。

达到一定水平时,充电电量的增加不再使效用增加。电动汽车充电的二次效用函数为

$$U(x_{i,j}^t, \omega_{i,j}^t) = \begin{cases} \sum_{j=1}^J [x_{i,j}^t \omega_{i,j}^t - \frac{\alpha}{2} (x_{i,j}^t)^2], & 0 \leq x_{i,j}^t \leq \frac{\omega_{i,j}^t}{\alpha} \\ \sum_{j=1}^J \frac{(\omega_{i,j}^t)^2}{2\alpha}, & x_{i,j}^t > \frac{\omega_{i,j}^t}{\alpha} \end{cases} \quad (1)$$

式中 $x_{i,j}^t$ 为电动汽车 i 在时间 t 内从充电桩 j 中获取的电量; $\omega_{i,j}^t$ 为 i 对 j 的偏好程度; $\alpha > 0$ 为给定的参数; J 为充电桩总数。

基于区块链的共享平台中,信息的透明共享让电动汽车用户能及时掌握充电桩信息,提高用户对充电桩的偏好程度,即用户对桩的偏好程度与信息互通成正相关关系,而信息互通程度与区块链的应用程度成正相关,所以用户的偏好程度与区块链的应用程度关系如公式所示。区块链的应用程度指车—桩接入区块链平台的比例。

$$\omega_{i,j}^t = \beta k \omega_{i,j}^{t'} + \omega_{i,j}^t \quad (2)$$

式中 $\omega_{i,j}^{t'}$ 为用户对未加入区块链平台充电桩的偏好程度; $k \in [0, 1]$ 表示区块链的应用程度; $\beta \in [0, 1]$ 表示区块链对用户偏好程度的影响系数。

2 链下匹配

2.1 三层寻找充电桩策略

第1层:最大范围。用户提供电动汽车剩余电量和耗电量,求得该电动汽车所能到达的最远范围,筛选出此范围内充电桩。此层筛选避免了电动汽车无法到达预约充电桩的情况。电动汽车 i 所能到达的最远范围为

$$S_i^{\max} = \frac{O_i}{C_i} \quad (3)$$

式中 O_i, C_i 分别为电动汽车 i 的剩余电量、耗电量。

第2层:理想预约时间。设计充电桩最初可供预约时间 T_i 为 24 h。资料显示,选择快充时电动汽车可在 0.5~1 h 内获得 80% 的电量,则设计电动汽车最短预约时间单位为 0.5 h,预约时间段为 00:00—00:30, 00:30—01:00, ..., 23:00—23:30, 23:30—00:00, 共 48 个时间段。在第1层筛选的基础上,用户根据自身情选择理想充电时间,预约成功

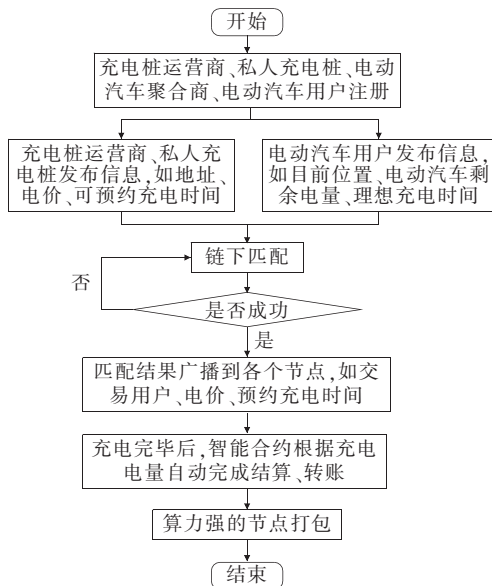


图 4 平台工作流程

Figure 4 Platform workflow diagram

1.4 电动汽车用户效用函数

车—桩交易中,电动汽车充电效用函数的特点为用户的效用随充电电量增加而增加,当充电电量

后平台自动移除该段时间。当范围内充电桩无法满足用户理想充电时间时,用户需更改充电时间。通常情况下用户选择私人充电桩充电时预约时间不少于 5 h。

第 3 层:用户需求偏向。在前两层筛选的基础上,以电动汽车用户充电总成本最小为目标函数,充电总成本包括时间和费用成本两部分,其中,费用成本包含充电、停车、里程费用,即

$$\min C_{ij} = a^1 C_{ij}^t + a^2 C_{ij}^f \quad (4)$$

$$C_{ij}^f = C_{ij}^c + C_{ij}^p + C_{ij}^s \quad (5)$$

式中 C_{ij} 为充电总成本; C_{ij}^t 、 C_{ij}^f 分别表示时间、费用成本; C_{ij}^c 、 C_{ij}^p 、 C_{ij}^s 分别为充电、停车、里程费用; a^1 、 a^2 为时间、费用成本占总成本的权重,当用户希望到达充电桩的路程较短时,权重 a^1 较大, a^2 相对较小,当用户希望费用成本较低时,权重 a^2 较大, a^1 相对较小。

时间与费用代表 2 个不同维度的变量,为了使时间成本与费用成本具有可比性,对各变量进行归一化处理^[18]。归一化函数为

$$\sigma(x) = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (6)$$

式中 x_{\min} 、 x_{\max} 分别为变量 x 中的最小、最大值。

1) 时间成本。

$$\begin{cases} C_{ij}^t = \sigma\left(\frac{S_{ij}}{v_i}\right), \\ 0 \leq S_{ij} \leq S_i^{\max}, 0 \leq v_i \leq v_{i,\max} \end{cases} \quad (7)$$

式中 S_{ij} 、 S_i^{\max} 分别为电动汽车 i 发布信息时刻与充电桩 j 的距离及最大距离; v_i 、 $v_{i,\max}$ 分别为电动汽车行驶速度及最大速度。

2) 充电费用。由充电时间 t_{ij}^c 、充电桩充电功率 P_j 、充电电价 p_j^c 决定,即

$$C_{ij}^c = \sigma(t_{ij}^c P_j p_j^c) \quad (8)$$

$$t_{ij}^c = \frac{O_i^e - (O_i - S_{ij} C_i)}{0.85 P_j} \quad (9)$$

$$0 \leq P_j \leq P_{j,\max} \quad (10)$$

$$O_{i,\min}^e \leq O_i^e \leq O_{i,\max}^e \quad (11)$$

式(9)中 O_i^e 为用户期望电动汽车所能达到的电量; 0.85 为充电桩充电转换效率; 式(10)、(11)为 P_j 、 S_i^e 约束。

3) 停车费用。由电动车充电时间和停车收费标准 p_j^p 决定:

$$C_{ij}^p = \sigma(t_{ij}^c p_j^p) \quad (12)$$

4) 里程费用。由车桩间距离、电动汽车耗电量、充电电价决定:

$$C_{ij}^s = \sigma(S_{ij} C_i p_j^c) \quad (13)$$

2.2 粒子群优化算法寻找最优解

Kennedy 和 Eberhart 在 1995 年提出了粒子群优化 (particle swarm optimization, PSO) 算法^[19]。在可行解空间内初始化一群粒子,每个粒子的特征由位置 X_{id}^k 、速度 V_{id}^k 、适应值表示,粒子根据自身经验产生的个体极值 P_{best} 和种群经验产生的群体极值 G_{best} 更新自身的速度和位置,每更新一次位置便计算一次适应度值。更新速度和位置公式分别为

$$V_{id}^{k+1} = \omega V_{id}^k + c_1 r_1 (P_{id}^k - X_{id}^k) + c_2 r_2 (P_{gd}^k - X_{id}^k) \quad (14)$$

$$X_{id}^{k+1} = X_{id}^k + V_{id}^{k+1} \quad (15)$$

式中 c_1 、 c_2 为学习因子; ω 为惯性权重,本文中 ω 动态变化; r_1 、 r_2 为 0~1 间的随机数; P_{id}^k 、 P_{gd}^k 分别为个体、群体极值。

PSO 用于第 3 寻找充电桩,过程如下。

1) 参数初始化。初始化的参数包括: c_1 、 c_2 、最大迭代次数 G 、种群规模 N 、粒子速度区间、搜索区间等。算例仿真中设置 $c_1 = c_2 = 2$; $G = 100$; $N = 50$; $v_{\max} = 0.5$, $v_{\min} = -0.5$; $\omega_{\max} = 0.9$, $\omega_{\min} = 0.4$, $\omega = \omega_{\max} - (\omega_{\max} - \omega_{\min})t/G$, t 表示当前迭代次数。

2) 产生初始粒子和速度,计算适应度函数值、个体极值、群体极值。

3) 迭代寻优。速度、种群、适应度值、个体极值、群体极值等更新。

4) 判断是否达到迭代次数,达到最大迭代次数,得出最优充电桩,没有达到迭代次数,返回步骤 3,继续迭代。

3 算例分析

3.1 验证区块链共享平台安全性、效用性

车、桩交易完成后主节点通过工作量证明机制争夺区块打包权,最终由算力最强的节点获取。该节点记录的交易数据必须与超过 50% 的全网主节点记录的数据一致,打包的区块才算成功。车、桩某

次交易数据如图 5、6 所示,将其交易量 30 kW·h 篡改成 31 kW·h,经哈希算法打包,哈希值分别为“e3909094baca34b1bcafb8170e4bc3da6358890721e-2626d4038ab6d1717c48b”,“dfa806dcab03e833f70-ce96e5b2a6d385a0676e83132d843fdca57cla0b24e29”,结果完全不同。若该节点不能篡改全网 50% 以上节点的信息,即全网恶意节点低于 50%,将无法通过节点认证,篡改无效。

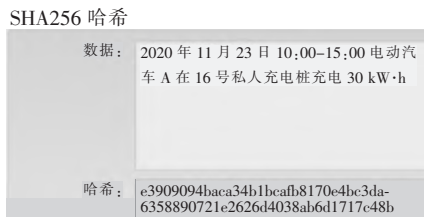


图 5 正确数据与哈希值

Figure 5 Correct data and hash value

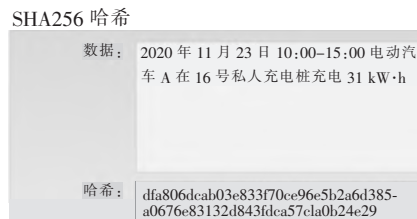


图 6 篡改数据与哈希值

Figure 6 Tampered data and hash value

由文献[20]可知, q 为恶意节点篡改下一个区块的概率, p 为诚实节点制造下一个区块的概率, z 为区块个数, qz 表示恶意节点最终追上 z 个区块的概率。当 $q=10\%$ 时, qz 随着 z 的变化如图 7 所示。可知,当区块链上存在 5 个区块时,区块上的信息将无法再被篡改,保证了平台的安全性。

设置 $\beta=0.7$, $\omega_{1,2}^i=4$, $\alpha=0.2$, $k=0/0.5/1$, 电动汽车用户效用函数与区块链应用程度的关系如图 8 所示,电动汽车用户的效用函数值随区块链应

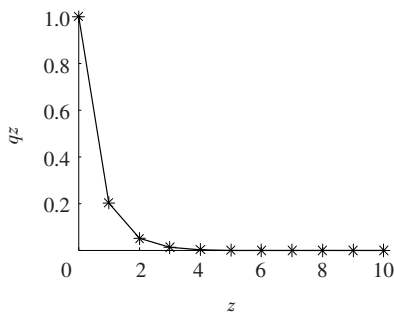


图 7 概率

Figure 7 Probability diagram

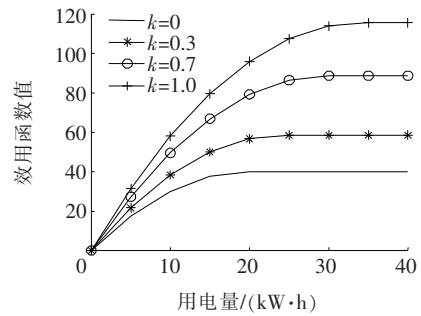


图 8 不同区块链应用程度下的用户效用函数

Figure 8 User's utility function under different blockchain application levels

用程度的增加而增加,即基于区块链的共享平台能提高电动汽车用户效用函数值。

3.2 验证三层寻找充电桩策略的有效性

据调查,公共充电桩与私人充电桩特性如表 1 所示,二者在充电费用、方式、时间及功率等方面存在较大差异。以此可将电动汽车用户划分为 3 类: ① A 类,用户时间急促,选择在公共充电桩快充; ② B 类,用户时间充裕,选择在公共充电桩慢充; ③ C 类,用户时间充裕,选择在私人充电桩慢充。快充与慢充的车—桩信息如表 2 所示,本文以家用电动汽车为研究对象。

表 1 充电桩信息

Table 1 Charging pile information

充电桩	电价	停车费	状态	
公共	分时电价,运营商根据国家要求自行制定,国网运营电价低于社会资本运营商	根据当地情况而定	白天多为充电状态	
	分时电价,充电桩主根据国家电价及自身情况制定	充电桩主自行决定	白天多为闲置状态	
充电桩	快充	慢充	充电功率/kW	充电时间/h
公共	支持	支持	快充:30、45、...、120 慢充:7	快充:0.5~1 慢充:5~8
私人	不支持	支持	慢充:7	慢充:5~8

表 2 电动汽车信息

Table 2 Information of EV

充电方式	电池总容量/(kW·h)	剩余电量/(kW·h)	期望电量/(kW·h)	耗电量/(kW·h)/km
慢充	50	5	50	0.2
快充	50	5	40	0.2
充电方式	速率/(km/h)	预约充电时段	充电桩功率/kW	
慢充	30	10:00—17:00	7	
快充	30	12:00—13:00	45	

本文选择在 10 km×10 km 的区域上进行仿真。在该区域设计有 20 个私人充电桩、3 个公共充电桩随机分配,如图 9 所示。各充电桩的充电电价、据电动汽车的距离、停车费信息已知,私人充电桩的电价、停车费用低于公共充电桩电价、停车费用。

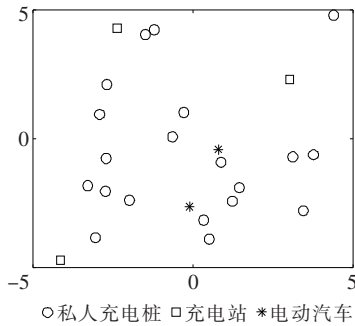


图 9 充电桩分布

Figure 9 Distribution of charging piles

B、C 类用户选择不同充电桩的费用成本如图 10 所示,其中,充电桩 21、22、23 号为公共充电桩,可知 B 类用户费用远高于 C 类用户,激励了电动汽车用户选择私人充电桩进行慢充,充分利用私人充电桩,降低公共充电桩不足的压力。A 类用户选择不同充电桩的费用成本如图 11 所示,与图 10 的 B 类用户充电费用相比,快充成本远低于慢充成本,抑制了用户选择公共充电桩进行慢充,提高了公共充电桩的使用效率。

在电动汽车用户寻找充电桩时,考虑路上车流量对用户到达充电桩的时间影响较大,在不同时段设置不同的权重 a^1 、 a^2 ,如表 3 所示。

B、C 类用户在不同时段的寻桩情况如图 12 所示,平台在高峰和其他时段为其选择的充电桩分别为 4、16 号充电桩,最大程度满足了用户的需求。

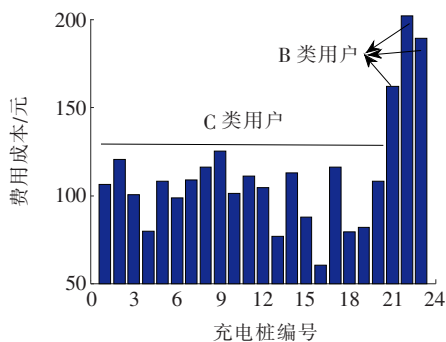


图 10 B、C 类用户费用成本

Figure 10 Cost of B and C

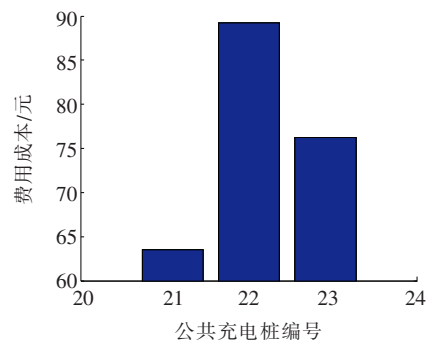


图 11 A 类用户费用成本

Figure 11 Cost of A users

表 3 不同时段权重配置

Table 3 Weight configuration for different periods

时间段	a^1	a^2
06:30—09:00(早高峰)	0.7	0.3
17:30—20:00(晚高峰)	0.7	0.3
其他时段	0.3	0.7

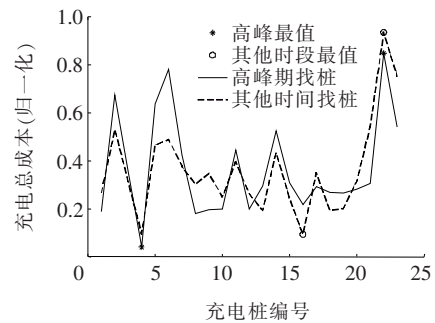


图 12 B、C 类用户寻桩情况

Figure 12 Stake-finding situation of B and C users

假设该区域白天会涌入 50 辆区域外的电动汽车,此 150 辆电动汽车用户为 B、C 类用户。私人充电桩未共享前电动汽车的充电现象如图 13 所示,充电高峰为 07:00—08:00、11:00—12:00、18:00—21:00,工作时段为 09:00—11:00、13:00—17:00,充电车辆数量较少。资料显示,考虑电动汽车的电池寿命,61%的用户会避免选择快充。私人充电桩共享后电动汽车充电现象见图 13,工作时段 20%的用户选择于私人充电桩充电,私人充电桩利用率达到 80%,18:00—21:00 充电数量降低 5.7%,电动汽车充电需求得到满足的几率由 75%提升至 94%(根据充电需求得到满足的电动汽车数量计算),提高了社会满意度,减缓了电网压力。

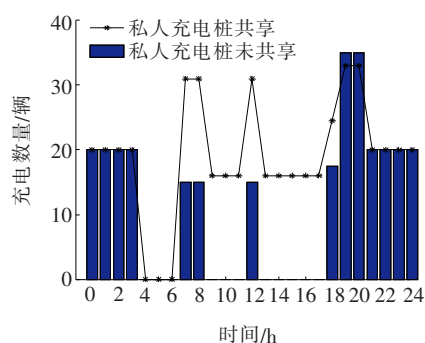


图 13 不同时段电动汽车充电数量

Figure 13 Charging quantity of EV in different periods

4 结语

本文所建立的基于区块链的电动汽车充电桩共享平台,能够支持多充电桩运营商、私人充电桩接入,具有去安全性、经济性高的特点;提出的3层寻找充电桩策略能最大程度满足用户的需求,具有一定的实用性、经济性。

1)构建了基于区块链的电动汽车充电桩共享平台模型架构,介绍了平台节点及其工作流程,验证了区块链平台的安全性,能提高用户的效用函数。

2)提出了3层寻找充电桩策略,用粒子群算法寻优,仿真结果验证了该方案能最大程度满足用户对时间成本和费用成本的不同需求。仿真结果表明,该平台可将选择慢充的电动汽车用户优先分配给私人充电桩,而充电站内充电桩则优先分配给选择快充的电动汽车用户,提高了充电桩的利用率,在一定程度上降低了电动汽车用户晚间集体充电的概率。

参考文献:

- [1] 潘华,梁作放,李永奎,等.考虑电动汽车用户行为特性的电力系统经济调度[J].电力科学与技术学报,2020,35(1):96-101.
PAN Hua, LIANG Zuofang, LI Yongkui, et al. Power system economic dispatch considering the behavior characteristics of electric vehicle users[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2020, 35(1): 96-101.
- [2] 郭磊,王克文,文福拴,等.电动汽车充电设施规划研究综述与展望[J].电力科学与技术学报,2019,34(3):56-70.
GUO Lei, WANG Kewen, WEN Fushuan, et al. Review

and prospect of charging facility planning of electric vehicles[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2019, 34(3): 56-70.

- [3] 金志刚,吴若茜,李根,等.基于联盟区块链的电动汽车充电交易模型[J].电网技术,2019,43(12):4362-4370.
JIN Zhigang, WU Ruoxi, LI Gen, et al. Transaction model for electric vehicle charging based on consortium blockchain[J]. Power System Technology, 2019, 43(12): 4362-4370.
- [4] 龚钢军,张桐,魏沛芳,等.基于区块链的能源互联网智能交易与协同调度体系研究[J].中国电机工程学报,2019,39(5):1278-1290.
GONG Gangjun, ZHANG Tong, WEI Peifang, et al. Research on intelligent trading and cooperative scheduling system of energy internet based on blockchain[J]. Proceeding of the CSEE, 2019, 39(5): 1278-1290.
- [5] 曾鸣,程俊,王雨晴,等.区块链框架下能源互联网多模块协同自治模式初探[J].中国电机工程学报,2017,37(13):3672-3681.
ZENG Ming, CHENG Jun, WANG Yuqing, et al. Primarily research for multi module cooperative autonomous mode of energy internet under blockchain framework [J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(13): 3672-3681.
- [6] 李兴源,蒋林洳,陈中,等.考虑电动汽车互动的综合能源系统扩展规划[J].电网与清洁能源,2020,36(4):106-114.
LI Xingyuan, JIANG Linru, CHEN Zhong, et al. Expansion planning of integrated energy system with the interaction between electric vehicles and power grid[J]. Power System and Clean Energy, 2020, 36(4): 106-114.
- [7] 余维,杨晓宇,田钊,等.基于用户偏好的电力资源去中心化配置方法[J].电力系统自动化,2019,43(13):98-105+138.
SHE Wei, YANG Xiaoyu, TIAN Zhao, et al. Decentralization configuration method of power resources based on user preference[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(13): 98-105+138.
- [8] 王辉,廖昆,陈波波,等.低碳形势下基于区块链技术的含微电网电力市场交易出清模型[J].现代电力,2019,36(1):14-21.
WANG Hui, LIAO Kun, CHEN Babo, et al. Transaction clearing model in electricity market with microgrids based on blockchain technology under low-carbon situation smat contract[J]. Modern Electric Power, 2019, 36

- (1):14-21.
- [9] 王立棋,杨庆,王静,等. 基于区块链下光伏微电网交易市场中的应用分析[J]. 电测与仪表,2020,57(12):75-82.
WANG Liqi, YANG Qing, WANG Jing, et al. Application analysis of photovoltaic micro-grid transaction marketization based on the block chain[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2020, 57(12):75-82.
- [10] 高治佳,李星梅,贾冬青,等. 基于已有充电站调整的电动汽车充电站选址研究[J]. 智慧电力,2022,50(6):79-84.
GAO Zhijia, LI Xingmei, JIA Dongqing, et al. Electric vehicle charging station location selection based on existing charging station adjustment[J]. Smart Power, 2022, 50(6):79-84.
- [11] 张富宝,李国,王滔滔. 基于区块链技术的电动汽车充电桩[J]. 计算机技术与发展,2020,30(4):161-166.
ZHANG Fubao, LI Guo, WANG Taotao. Electric vehicle charging chain based on blockchain technology[J]. Computer Technology and Development, 2020, 30(4):161-166.
- [12] 王惠洲,于艾清. 基于联盟区块链技术的V2V电力交易研究[J]. 现代电力,2019,36(3):34-41.
WANG Huizhou, YU Aiqing. Study on V2V electricity trading based on consortium blockchain technology[J]. Modern Electric Power, 2019, 36(3):34-41.
- [13] 郑世强. V2G中基于智能合约的去中心化电力交易研究[D]. 北京:华北电力大学,2019.
- [14] 王浩然,陈思捷,严正,等. 基于区块链的电动汽车充电站充电权交易:机制、模型和方法[J]. 中国电机工程学报,2020,40(2):425-436.
WANG Haoran, CHEN Sijie, YAN Zheng, et al. Blockchain-enabled charging right trading among EV charging stations: mechanism, model and method[J]. Proceedings of the CSEE, 2020, 40(2):425-436.
- [15] 常小强,宋政湘,王建华. 基于蒙特卡罗算法的电动汽车充电负荷预测及系统开发[J]. 高压电器,2020,56(8):1-5.
CHANG Xiaoqiang, SONG Zhengxiang, WANG Jianhua. Electric vehicle charging load prediction and system development based on monte carlo algorithm[J]. High Voltage Apparatus, 2020, 56(8):1-5.
- [16] 涂因子,夏冰冰,杨震,等. 基于区块链的共享充电桩平台方案设计[C]//2018电力行业信息化年会,银川,中国,2018.
TU Yinzi, XIA Bingbing, YANG Zheng, et al. Scheme design of shared charging pile platform based on block chain[C]// The Power Industry Informatization Annual Conference, Yinchuan, China, 2018.
- [17] 吴钟鸣,卢军锋,孙丽,等. 可移动式电动汽车充电桩的设计[J]. 电力系统保护与控制,2021,49(23):148-154.
WU Zhongming, LU Junfeng, SUN Li, et al. Design of a mobile electric vehicle charging pile[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(23):148-154.
- [18] 吴小员,孙宝江,左哲伦. 基于私人充电桩共享的新能源汽车充电调度研究[C]//2019中国汽车工程学会年会,上海,中国,2019.
WU Xiaoyuan, SUN Baojiang, ZUO Zhelun. Charging scheduling of new energy vehicle based on private chargers' sharing [C]//2019 China SAE Congress, Shanghai, China, 2019.
- [19] 张钰,张玥,韩新阳,等. 碳排放最小化条件下电动汽车有序充电策略研究[J]. 中国电力,2020,53(4):147-154.
ZHANG Yu, ZHANG Yue, HAN Xinyang, et al. Research on electric vehicle smart charging strategy on carbon emission minimization[J]. Electric Power, 2020, 53(4):147-154.
- [20] 江云超,何小卫,崔一举. 区块链节点存储优化方案[J]. 应用科学学报,2020,38(1):119-126.
JIANG Yunchao, HE Xiaowei, CUI Yiju. Blockchain node storage optimization scheme[J]. Journal of Applied Sciences, 2020, 38(1):119-126.