

# 基于区块链技术的电动汽车充电链

张富宝<sup>1</sup>, 李 国<sup>2</sup>, 王滔滔<sup>2</sup>

(1. 中国信息通信研究院 工业互联网与物联网研究所, 北京 100191;  
2. 深圳大学 电子与信息工程学院, 广东 深圳 518061)

**摘 要:**近年来,为了降低对石油能源的消耗、对环境的污染,中国积极推动新能源汽车的发展,取得了很好的成效,电动汽车保有量连年激增。但是针对电动汽车的配套基础设施(充电桩)的发展却严重落后,电动汽车与充电桩的布局极不均衡,充电难已经逐渐成为制约电动汽车发展的主要因素。区块链技术具有去中心化、可追溯、不可篡改等技术优势,被广泛应用到金融、地产、医疗、物联网、教育等各个领域。针对电动汽车面临的“有车无桩,有桩无车”的现象,对电动汽车充电联盟链的可行性与创新性进行了深入的分析。系统阐述了区块链的技术背景,在此基础上提出了基于区块链技术的充电桩共享方案。详细阐述了充电桩共享系统的各个模块,包括底层区块链类型、区块链节点类型以及系统所采用的共识机制。最后提出系统实现的整个系统架构,系统动态模型。充电联盟链的建设,有利于消除电动汽车企业与充电桩运营商之间的信任壁垒,实现电动汽车车主与充电桩运营商之间的公平的价值转移,有效缓解现阶段电动汽车充电难的困境。

**关键词:**区块链;联盟链;充电桩共享;共识机制

中图分类号:TP302

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2020)04-0161-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2020.04.031

## Electric Vehicle Charging Chain Based on Blockchain Technology

ZHANG Fu-bao<sup>1</sup>, LI Guo<sup>2</sup>, WANG Tao-tao<sup>2</sup>

(1. Industrial Internet and Internet of Things Research Institute, Information and Communication Research Institute, Beijing 100191, China;

2. School of Electronics and Information Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518061, China)

**Abstract:** In recent years, in order to reduce the consumption of petroleum energy and pollution to the environment, China has actively promoted the development of new energy vehicles and achieved ideal results. The number of electric vehicles has increased dramatically year after year. However, the development of supporting infrastructure (charging piles) for electric vehicles is seriously backward. The layout of electric vehicles and charging piles is extremely uneven. The difficulty of charging has gradually become a major factor restricting the development of electric vehicles. Blockchain technology has the technical advantages of decentralization, traceability and non-tampering, which is widely used in various fields such as finance, real estate, medical care, Internet of Things and education. In view of the phenomenon of “no car, no pile, no car”, the electric vehicle has a deep analysis of the feasibility and innovation of the electric vehicle charging alliance chain. The technical background of blockchain is expounded systematically. Based on this, a charging pile sharing scheme based on blockchain technology is proposed. The modules of the charging pile sharing system are elaborated, including the underlying blockchain type, the blockchain node type and the consensus mechanism adopted by the system. Finally, the whole system architecture, system dynamic model realized by the system are proposed. The construction of the charging alliance chain is conducive to eliminating the trust barrier between the electric vehicle enterprise and the charging pile operator, realizing the fair value transfer between the electric vehicle owner and the charging pile operator, effectively alleviating the difficulty of charging the electric vehicle at this stage.

**Key words:** blockchain; alliance chain; charging pile sharing; consensus mechanism

## 0 引 言

近年来,新能源汽车被中国作为新兴战略产业大

力推动,发展迅速。2012年国务院正式发布的《节能与新能源汽车产业发展规划(2012-2020)》<sup>[1]</sup>明确指

收稿日期:2019-03-26

修回日期:2019-07-29

网络出版时间:2019-12-05

基金项目:国家自然科学基金-青年基金(61701311)

作者简介:张富宝(1988-),男,硕士,工程师,研究方向为区块链、工业互联网、数字身份、金融科技;王滔滔,男,博士,助理教授,通讯作者,研究方向为区块链技术、深度强化学习。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20191205.1113.024.html>

出:“以纯电驱动为新能源汽车发展和汽车工业转型的主要战略取向”。2013 年起,国内新能源汽车开始进入发展快车道。2014 年新能源汽车销量 7.48 万辆,相比于 2013 年,增长了 323.8%。2017 年 9 月工信部公开表示已经开始研究制定传统燃油汽车停产停售的时间表,预计 2040 年前后全面停售燃油汽车。2017 年 12 月国家四部委联合发布《关于免征新能源汽车车辆购置税的公告》<sup>[2]</sup>,指出“自 2018 年 1 月 1 日至 2020 年 12 月 31 日,对购置的新能源汽车免征车辆购置税”。这一举措,极大地刺激了消费者对新能源汽车的购买欲望。据公安部统计,截止到 2018 年 9 月,国内新能源汽车的保有量已达到 220 万辆。预计到 2020 年,新能源汽车的累计保有量将达到 500 万辆。

虽然新能源汽车得到大力发展,但是与之配套的充电基础设施却发展缓慢,大家普遍重视对新能源汽车的研发投入,却忽视了对充电基础设施的建设。在这种畸形的发展模式下,新能源汽车与充电桩数量之间的差距越来越大。据相关统计,截止到 2018 年 9 月底,国内新能源汽车保有量为 220 万辆,充电桩总量为 68.6 万个,车桩比为 3.31 : 1,比例严重失调。此外,充电桩的布局极度不均衡,有车无桩、有桩无车等现象大量存在。在用户体验方面,充电桩质量参差不齐,用户需要下载多个 App 才能使用不同的商业充电桩,操作步骤繁琐,给用户带来极差的体验。国家能源局出台的《2018 年能源工业指导意见》<sup>[3]</sup>明确指出:“2018 年将积极推进充电桩建设,统一电动汽车充电设施标准”,此政策表明未来国内将继续加大新能源汽车充电基础设施的建设,从根本上解决充电桩数量少,无桩可用的问题;根据国家规划:2015-2020 年国家规划新增充电站 1.2 万个、新增充电桩 480 万个,2020 年规划车桩比为 1 : 1。按照这种推算,如果到 2020 年国内新能源汽车保有量达到 500 万辆,需要 500 万个充电桩来满足用户充电需求。如果能充分利用私人充电桩,必能有效解决当下新能源汽车充电难的问题。

共享经济是以分散的社会闲置资源为基础,以提升资源利用率为核心的服务式经济。如果能将私人充电桩进行共享,充分利用社会商业化的私人充电桩为新能源汽车充电,将有效缓解现阶段电动汽车充电难的困境,极大地促进国内新能源汽车的发展。然而充电桩运营企业与新能源汽车企业之间存在不同的利益诉求,互相难以取得信任,在充电费用方面容易产生巨大的分歧,可能导致合作难以建立。

而区块链技术的出现,使这个问题有了技术性解决方案。利用区块链技术的去中心化和多方共同记账维护账本的特性,通过在充电桩运营企业与新能源汽

车企业之间建设一个联盟链,实现汽车充电时自动记账,多方自动认可账目,无账目差异、无人可篡改的充电联盟链,切实解决电动汽车充电难的问题,促进国内新能源汽车的发展。

## 1 充电联盟链分析

### 1.1 可行性分析

现有的充电桩运营商多采用中心化的运营模式来进行充电桩共享,电动车主与充电桩运营商之间信息不对称,使得电动车主与运营商之间存在天然的信任壁垒,极大地影响了用户的参与度。此外,各家运营商数据孤立,无法有效整合充电桩资源,造成不必要的资源闲置。因此,建立一个安全、可信、多方参与、共同记账的充电交易平台十分必要。

区块链是分布式数据存储、点对点传输、共识机制、加密算法等计算机技术的创新应用模式<sup>[4]</sup>。区块链技术的核心优势是去中心化、可追溯、不可篡改,通过运用数据加密、时间戳、分布式共识和经济激励等手段,能够在节点无需互相信任的分布式系统中实现基于去中心化信用的点对点交易、协调与协作,从而为解决中心化机构普遍存在的高成本、难维护等问题提供了解决方案。因此将区块链结合充电桩共享不仅可行而且很有必要。

### 1.2 创新性分析

作为国内首次将区块链技术应用到充电桩共享业务的应用,提出的基于区块链技术的充电联盟链具有如下的创新点:

(1)采用区块链技术搭建底层服务,为多方互信合作提供基础信息平台。区块链技术作为一个去中心化的分布式服务技术,由于其不需要信用中心和信用中介,就可完成信用转移,在充电桩共享业务中使用,贴合实际需求,满足多方合作的基本要求。

(2)将区块链技术与物联网技术进行结合,实现自动化交易。尽管国际上有很多公司提出了区块链技术与物联网技术结合的方案,但是目前实际落地的项目仍然少见,尤其是国内尚未见到成功的案例。充电联盟链的实施将成为一个标杆性的科技项目,对于信息科技、金融科技以及共享经济模式等将产生重大影响。

(3)安全的系统架构,引入区块链没有降低原有系统的信息安全水平。充电联盟链通过多个 VPN 网络和双网卡跨网方式,将区块链服务器和已有的后台服务器在物理上和网络上进行了分离,通过 VPN 的连接权限控制了联盟链的许可机制所带来的信息泄露风险,同时也能够有效阻止合作中的双方利用区块链直接互联的特性侵入对方的后台服务器。

2 区块链

区块链技术首次出现在公众的视野中是在 2008 年,名为中本聪的学者发表的一篇名为《Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system》<sup>[5]</sup> 的论文。该论文详细阐述了基于 P2P 网络技术、加密技术、时间戳技术、区块链技术等的电子现金系统的构架理念,标志着比特币的诞生。

2.1 区块链数据结构

区块链是一种按照时间顺序将数据区块以顺序相连的方式组合成的链式数据结构,并以密码学的方式保证不可篡改和不可伪造的分布式账本。区块是指一定时间内的合法交易被计算哈希难度的矿工所打包生

成的数据,链是指每个区块都包含上一个区块的哈希索引<sup>[6]</sup>。区块被点对点网络所组成的分布式网络广播<sup>[7]</sup>,每个节点在收到新的区块后,会对比自己已有的区块数据,当发现没有包含此区块,且验证了此区块合法时,会将此区块更新到自己的最长的区块链数据中。这样每个节点都维护同一份最长的区块链数据,增加了冗余,保证了区块链中记录的交易数据不被恶意节点篡改<sup>[8]</sup>。区块包含区块头部和区块体,区块头部包含了父区块哈希、时间戳、工作量证明的随机值、难度值、Merkle 根、版本号。区块体包含了当前区块所有交易的 Merkle 树。区块链数据结构如图 1 所示。

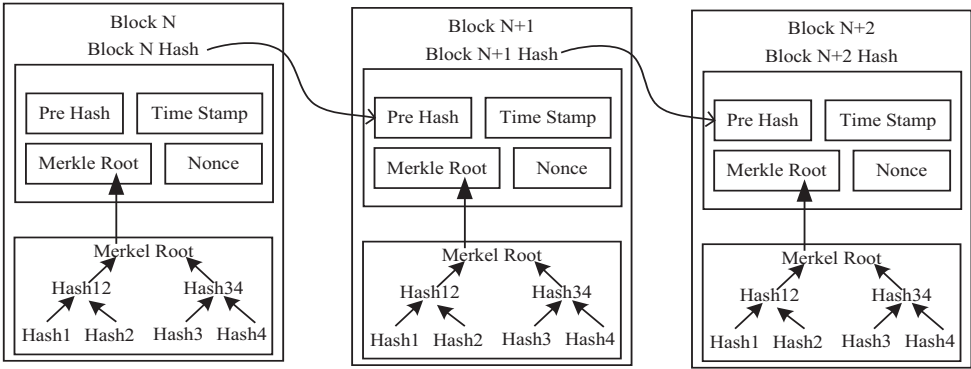


图 1 区块链数据结构

2.2 区块链的分类

公有链:分布在世界各地的节点可发起交易并更新到完整的公开的区块链数据中,任何一个节点都平等地参与到共识协议中来,公有链是完全的去中心化点对点网络结构,每一个节点都可以根据共识算法挖出区块,并广播给其他节点进行验证<sup>[9]</sup>。其共识机制采用工作量证明 (proof of work)<sup>[10]</sup> 或权益证明 (proof of stake)<sup>[11]</sup>,同时区块链的奖励机制使得每个挖出区块的节点获得一定的共识奖励。

联盟链:一些可信任的组织机构节点被选中,轮流进行打包区块,这些节点打包的合法区块数据会被其他节点无条件接受,同时会公开一定的接口供其他机构查询,联盟链是部分去中心化的<sup>[12]</sup>。

私有链:私有链是区块链数据的更新由同一个组织完成,读取的可以是公开或是被限制的,主要应用于公司内部的数据管理、查看,可以保证私有区块链系统的可控制性以及区块链后期的升级维护。

2.3 智能合约

“智能合约”可以追溯至 1995 年,由跨领域学者尼克·萨博提出<sup>[13]</sup>,被定义为“一套以数字形式定义的承诺,合约参与方通过智能合约执行这些承诺”。

在安全性上,智能合约一旦被部署在区块链上,合约的执行不受任何一方控制,合约按照预先写好的内

容客观,准确地执行<sup>[14]</sup>。智能合约运行后,智能合约的状态会发生变化,矿工将这些状态变化同正常账户交易的资金变化一去进行验证并打包加入区块,通过一定工作量证明生成新的区块,链接到主链上,智能合约的不可篡改,伪造的安全特性。

3 共享充电链技术方案

将区块链技术与电动汽车充电桩共享经济进行结合,国内已有学者做过相关研究。齐林海教授等<sup>[15]</sup>提出了一种以比特币区块链作为底层支撑,结合闪电网络、智能合约构建的去中心化、安全、高效、自动结算的点对点共享充电桩的方案。比特币作为区块链第一个成熟的应用,稳定运行多年,确实具有一定的借鉴价值。然而,比特币区块链作为一种公链,存在天然的吞吐量低,用户交易隐私公开等弊端。此外,由于比特币价值不稳定,且拥有者较少,因此,采用比特币作为充电交易结算货币不太现实。联盟链具有较高 TPS,可以很好地满足充电桩共享中的交易处理;此外,联盟链具有极好的隐私性,使得充电桩共享中的交易隐私得到保护。综上所述,文中提出一种新的基于联盟链的充电桩共享模式,实现一个去中心化的,可信任充电共享价值转移系统。

基于联盟链的充电桩共享系统主要涉及到底层区



块链、节点间共识、联盟节点、普通节点等几个部分。

●底层区块链:该模块为系统提供了一个整体的底层框架,实现一个去中心化的、分布式的、多方共同维护的动态加密数据库,数据按照时间戳的先后顺序进行链式存储,确保记录到数据库中的数据安全可信、不可篡改。

●共识机制:区块链系统中不存在中心化的节点对数据库进行管理,所以系统中任何“决策/状态/改变等”主要依靠节点之间的共识机制实现。

●联盟节点:联盟节点是整个联盟链中功能最全

的节点,主要是充电桩运营商以及系统管理员。联盟节点可以向底层区块链中写入数据、更新数据、验证数据,此外,联盟节点还能为用户提供分配读取链上数据的权限。

●普通节点:只享受系统提供的服务而不参与数据记录、数据共识的节点。普通节点可以向联盟节点申请查看联盟链上记录的数据,获得授权后可以读取相应的充电交易数据。

整个系统的系统示意图如图 2 所示。

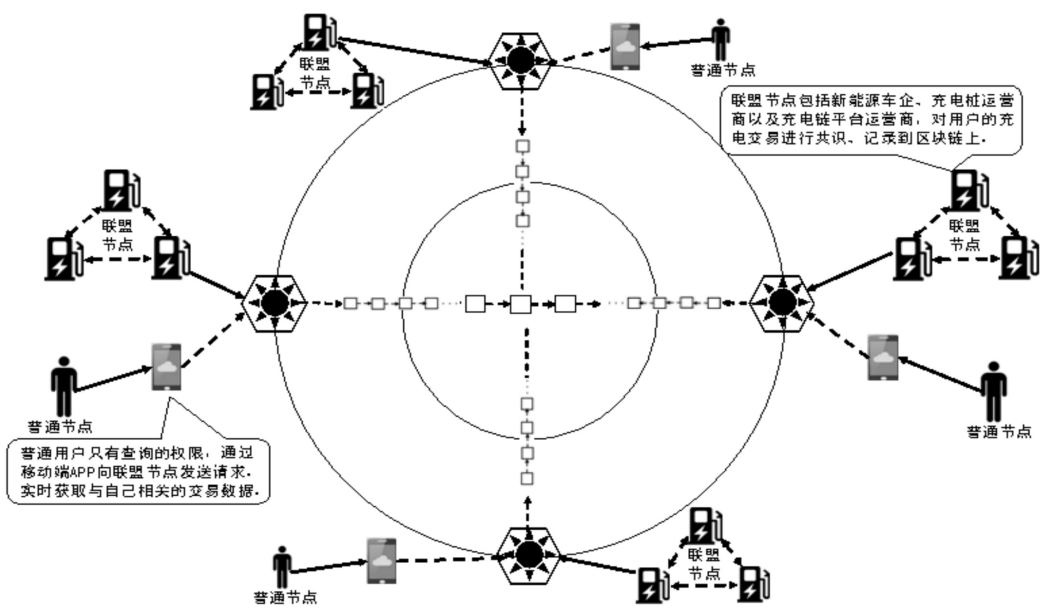


图 2 基于联盟链的充电桩共享系统示意图

3.1 电动汽车充电桩共享系统模块

3.1.1 底层区块链类型、结构

为了构建一个多方共同记账、共同维护账本、交易数据隐私保护的充电桩共享生态系统,采用联盟链作为底层区块链。联盟链中的节点通过授权加入,保证了节点的可信任。只有联盟节点有权向链上写入数据,普通节点只有在获得授权许可下才能访问链上数据,如此可以避免交易数据对任何人公开,保护用户交易隐私。用户充电交易数据被联盟节点打包进区块中,联盟链中各节点达成共识之后,通过哈希指针连接到最长的区块链中,区块头中包含时间戳,使得交易数据无法被篡改。联盟节点之间通过 P2P 网络进行节点间发现,交易广播,节点通信等。采用非对称加密算法对交易数据进行加密,保护用户隐私,进行数字签名以及身份认证。

3.1.2 联盟节点

整个共享充电联盟链中充当联盟节点的主要是充电桩运营商、新能源汽车企业、共享平台运营方。联盟节点拥有链上唯一的记账权,可以向区块链上写入充电交易数据,一旦数据被记录到链上,无法进行篡改。

3.1.3 普通节点

普通节点主要是指享用充电桩充电服务的电动车主。通过在个人移动终端安装相应的 App 应用之后,用户手机 App 调用充电桩的接口对电动汽车进行充电,充电之后进行电费支付交易。此外用户还可以通过手机 App 向联盟节点申请查询自己的交易记录。

3.1.4 共识机制

整个充电联盟链采用实用拜占庭容错 (practical byzantine fault tolerance, PBFT) [16] 共识算法来达成节点共识。具体共识过程如图 3 所示。

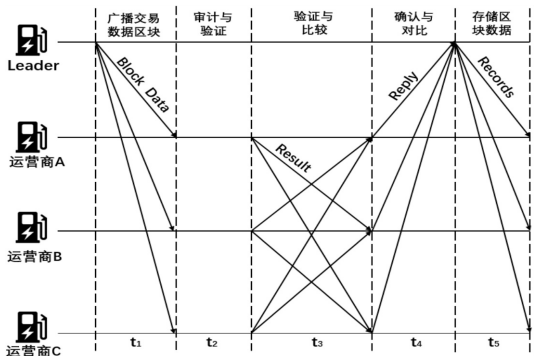


图 3 共享充电联盟链共识过程

(1) 主节点从其他联盟节点中收集交易数据,重新整合生成一个新的交易区块,然后用自己的私钥对新的交易区块进行数字签名,与新区块的哈希一同打包,广播给各个从节点,以待从节点对区块中的交易进行验证。其中主节点是由系统选举产生,通过一个模运算进行或者选择当前存活的节点编号最小的节点成为主节点。具体公式如下:

$$P = V \bmod |R| \quad (1)$$

其中,  $P$  为节点编号,  $V$  为视图编号,  $|R|$  为节点数量。如果主节点掉线或者作恶需要启动视图更换。

(2)从节点在收到主节点广播过来的交易区块后,首先查看区块头中的区块哈希值和数字签名等信息来验证区块中交易的合法性与正确性。验证完成后,从节点将验证结果附上自己的数字签名,通过 P2P 网络广播给其他从节点,从而在从节点之间实现对新区块的共同验证,确保新区块的合法性与正确性。

(3) 当某一从节点接收到其他节点广播的新区块验证结果后,与自身对新区块的验证结果进行比对,然后得出一个审计对比结论。从节点会将自身对新区块的审计结果、接收到的审计结果以及对比得出的审计结论打包成一个回复(Reply),附上对应的数字签名,

发送给主节点。

(4)主节点针对从节点发送过来的不同审计结果,会进行不同的操作。如果所有联盟节点对当前交易区块表示认可,主节点会将所有参与该交易区块验证的从节点的数字证书以及相应的数字签名附在该交易区块上,一同打包广播给所有的从节点,从节点接收到该数据区块后会对其进行同步,按照时间先后顺序链接到现有的联盟链上;反之,如果存在部分从节点对该交易区块不认可,则主节点会要求这些节点再次对交易区块进行审计,根据再次审计的结果,如有半数以上的节点认同该数据区块,则主节点和从节点会按照第一种情况将该交易区块添加到联盟链上。同时,针对第二次审计中依然持不认同态度的节点,主节点将会对其进行深入分析来判断这些节点是否存在作恶行为。如果存在节点作恶,则主节点会对这些节点进行惩罚处理(清除作恶节点)。

### 3.2 电动汽车充电桩共享系统的具体实现

系统模块确定之后,完善充电联盟链的功能,开发出基于联盟链的充电桩共享系统。整个系统的系统框架如图4所示。

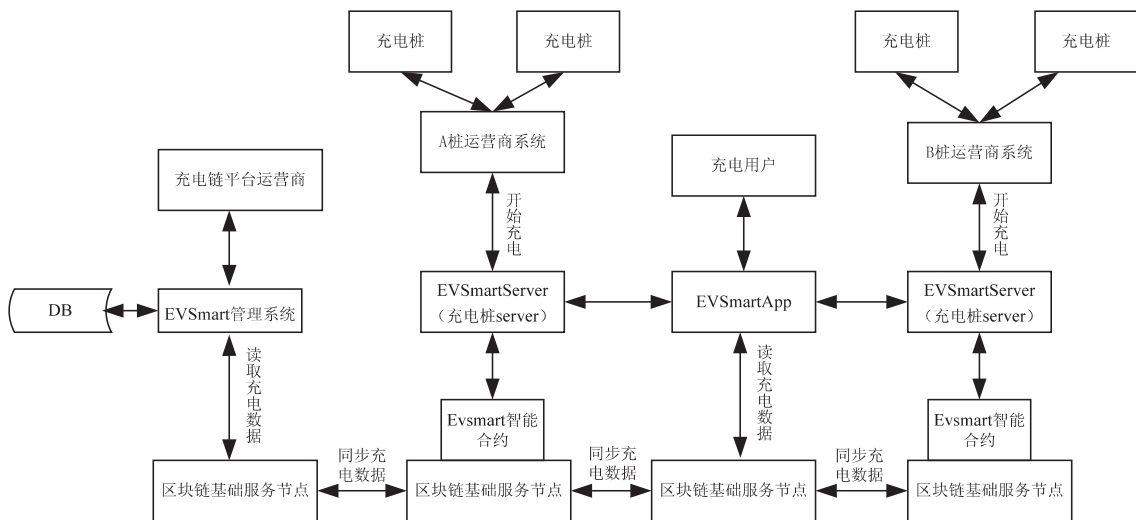


图4 电动汽车充电桩共享系统整体框架

其中底层联盟链为整个系统提供用户管理、充电交易记录、充电费用结算规则等功能。针对充电联盟链基础服务,开发了基于底层联盟链的去中心化应用 EVSmart,该应用本质是部署在区块链上的智能合约,主要为外部应用提供接口,以访问链上的数据,使用链上的服务。为用户开发了交互系统 EVSmartApp,提供充电操作、余额查询、充值等功能。EVSmartServer 是系统中由充电桩运营商维护的后台服务系统,该服务系统也可委托给 EVSmart 平台提供商进行维护。主要是 EVSmart 客户端与充电桩之间的转换器,具有充电权限校验、调用充电桩接口、启动结束充电、钱包等

功能。架构图中每个运营商一个 server,在实际实现中可以一个 server 支持多个运营商,其他运营商需要接入只需要重新开发调用接口即可。EVSmart 管理系统,除了提供对手机 App 后台支持服务外,还需提供用户管理、充电交易查询、统计、服务监控等功能。

## 4 结束语

近年来,国内新能源汽车得到飞速发展,然而与之配套的充电设施却发展缓慢,车桩比严重失衡,充电难问题日益严峻。政府自建的公共充电桩难以满足电动车日常充电需求,充电难成为制约新能源汽车发展的

关键因素。通过共享模式对私人充电桩进行共享,一定程度上可以缓解政府对公共电桩的建设投入,同时可以充分利用闲置的充电桩资源,使得电动车主可以享受方便快捷的充电服务,切实解决当前电动汽车充电难的问题。

然而,电动车主与充电桩运营商之间天然存在的信任壁垒使得双方无法就充电费用达成共识,充电桩共享必将陷入窘境。区块链技术天然的去中心化、可溯源、无法篡改的特性可以用于建立无需第三方担保的可信任价值转移系统。文中提出一种以联盟链为底层技术的电动汽车充电桩共享系统,联盟链的准入机制保证了参与记账的多方可信任,高效的 PBFT 共识机制保证了交易处理速度满足实际需求。通过智能合约实现充电结束自动结算电费,保证了充电费用公平无差错,多方认可。此外,充电交易记录在联盟链上,只有联盟节点才有权查看,保证了用户交易隐私。提出的电动汽车充电桩共享系统已经完全实现,经过测试,可以正常实现功能,满足电动汽车日常充电需求,切实解决电动汽车车主充电难的问题,促进新能源汽车产业的发展。未来的工作中,可以在汽车停车联盟链、汽车零部件供应链、新能源电池全生命周期管理链、汽车供应链金融、汽车保险等方面做一些新的探索。

#### 参考文献:

- [1] 方晓汾. 节能与新能源汽车产业发展规划[J]. 中国汽车界,2012(8):10-14.
- [2] 张 璞,邓力平. 财政部、国家税务总局、工业和信息化部联合发布《关于免征新能源汽车车辆购置税的公告》[J]. 国际税收,2017(11):33-36.
- [3] 2018 年能源工作指导意见[J]. 石油和化工节能,2018(3):3-4.
- [4] 邱元阳. 区块链与机器信任[J]. 中国信息技术教育,2018(7):28.
- [5] NAKAMOTO S. Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system[EB/OL]. [2019-03-16]. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
- [6] WRIGHT A, DE FILIPPI P. Decentralized blockchain technology and the rise of lex cryptographia[J]. Social Science Electronic Publishing, 2015(3):12-17.
- [7] BRACHA G, TOUEG S. Asynchronous consensus and broadcast protocols[J]. Journal of the ACM, 1985, 32(4):824-840.
- [8] KUO T T, KIM H E, OHNO-MACHADO L. Blockchain distributed ledger technologies for biomedical and health care applications[J]. Journal of the American Medical Informatics Association, 2017, 24(6):1211-1220.
- [9] GÖBEL J, KEELER H P, KRZESINSKI A E, et al. Bitcoin blockchain dynamics: the selfish-mine strategy in the presence of propagation delay [J]. Performance Evaluation, 2016, 104:23-41.
- [10] GERVAIS A, KARAME G O, WÜST K, et al. On the security and performance of proof of work blockchains[C]//Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC conference on computer and communications security. [s. l. ]:ACM, 2016:3-16.
- [11] KIAYIAS A, RUSSELL A, DAVID B, et al. Ouroboros: a provably secure proof-of-stake blockchain protocol[C]//Annual international cryptology conference. Santa Barbara, CA, USA:Springer, 2017:357-388.
- [12] GARAY J, KIAYIAS A, LEONARDOS N. The bitcoin backbone protocol: analysis and applications[C]//Annual international conference on the theory and applications of cryptographic techniques. Sofia, Bulgaria:Springer, 2015:281-310.
- [13] BUTERIN V. A next-generation smart contract and decentralized application platform [EB/OL]. (2015-11-12) [2019-03-16]. <https://github.com/ethereum/wiki/wiki/WhitePaper>.
- [14] DELMOLINO K, ARNETT M, KOSBA A, et al. Step by step towards creating a safe smart contract: lessons and insights from a cryptocurrency lab[C]//International conference on financial cryptography and data security. Barbados:Springer, 2016:79-94.
- [15] 齐林海,李 雪,祁 兵,等. 基于区块链生态系统的充电桩共享经济模式[J]. 电力建设,2017,38(9):1-7.
- [16] ABRAHAM I, GUETA G, MALKHI D, et al. Revisiting fast practical byzantine fault tolerance[EB/OL]. (2017-12-04) [2019-03-16]. <https://arxiv.org/abs/1712.01367>.