

# 武汉理工大学毕业设计（论文）

## 基于区块链的 V2G 能源交易机制的研究

学院（系）： 自动化学院

专业班级： 自动化专业自动化1902班

学生姓名： 马子豪

指导教师： 胡卓

## 学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的论文是本人在导师的指导下独立进行研究所取得的研究成果。除了文中特别加以标注引用的内容外，本论文不包括任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。本人完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

作者签名：

年 月 日

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保障、使用学位论文的规定，同意学校保留并向有关学位论文管理部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权省级优秀学士论文评选机构将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

本学位论文属于 1、保密口，在 年解密后适用本授权书

2、不保密口。

作者签名： 年 月 日

导师签名： 年 月 日

## 摘要

随着环保意识的加强和电动汽车（EVs）市场的快速发展，我们迫切需要一种可靠且高效的交易机制来处理 EVs 的能源管理和交易问题。为此，本文提出了一种针对车对网（V2G）环境的基于区块链的能源交易架构。该架构通过综合管理能源交易和保护用户隐私，致力于为 V2G 系统提供公平和高效的交易平台。该架构内部的交易过程及其在能源交易中的应用，进一步揭示了区块链技术的潜力和挑战。为增强交易的安全性和效率。文章进一步引入了一个基于声誉的共识框架，并详述了该共识算法的工作流程，包括声誉的计算及更新规则。最后在实际验证中，通过模拟区块链网络节点的行为，论证了该共识算法的有效性。实验结果展示，不仅节点的声誉在决定区块链网络中的链条选择上起到了关键作用，而且成功地验证了声誉共识算法的有效性。这一创新的交易架构和基于声誉的共识算法的设计，为优化基于区块链的 V2G 能源交易机制提供了有效的理论和实践支持，对实现环保和高效的能源交易具有重要意义，同时为 V2G 技术的未来发展和应用奠定了坚实的基础。

**关键词：**车对网（V2G）；区块链；能源交易；共识算法

# Abstract

With the increasing environmental awareness and rapid growth of the electric vehicle (EVs) market, the need for a reliable and efficient transaction mechanism for managing and trading energy in EVs has become urgent. In this paper, we propose a blockchain-based energy trading architecture specifically designed for Vehicle-to-Grid (V2G) environments. This architecture aims to provide a fair and efficient trading platform for V2G systems by integrating energy transaction management and protecting user privacy. The internal transaction process and its application in energy trading further reveal the potential and challenges of blockchain technology. To enhance transaction security and efficiency, we introduce a reputation-based consensus framework and provide detailed explanations of the workflow and reputation calculation and update rules of the consensus algorithm. Through practical validation by simulating the behavior of nodes in a blockchain network, we successfully demonstrate the effectiveness of the reputation consensus algorithm. The experimental results highlight the crucial role of node reputation in chain selection within the blockchain network and validate the efficacy of the reputation consensus algorithm. This innovative transaction architecture and reputation-based consensus algorithm design offer theoretical and practical support for optimizing the blockchain-based V2G energy trading mechanism, which is of great significance in achieving environmentally friendly and efficient energy trading. Furthermore, they lay a solid foundation for the future development and application of V2G technology.

**Key Words;** Vehicle-to-grid(V2G); Blockchain; Energy trading; Consensus algorithm

## 目录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 研究目的及意义 .....	1
1.2 国内外现状 .....	2
1.2.1 V2G 能源交易机制 .....	2
1.2.2 共识算法 .....	2
1.3 研究内容 .....	3
1.4 研究目标 .....	4
1.5 拟采用的方法和措施 .....	错误!未定义书签。
第 2 章 基于区块链的能源交易机制 .....	5
2.1 系统架构 .....	5
2.2 能源交易过程 .....	7
第 3 章 基于声誉的共识算法设计 .....	10
3.1 基于声誉的共识算法的基本原理 .....	10
3.2 声誉框架 .....	10
3.2.1 角色 .....	11
3.2.2 规则 .....	11
3.2.3 声誉计算 .....	11
3.2.4 声誉的更新 .....	12
3.2.5 分布式的实现 .....	13
3.3 共识算法的工作流程 .....	13
第 4 章 实验 .....	15
4.1 案例研究 .....	15
4.1.1 实验软件 .....	15
4.1.2 实验步骤 .....	15
4.1.3 实验结果 .....	17
4.2 性能分析 .....	19
第 5 章 总结与展望 .....	20
5.1 本文工作总结 .....	20
5.2 未来工作展望 .....	21
参考文献 .....	22
致谢 .....	24

# 第 1 章 绪论

## 1.1 研究目的及意义

全球能源危机日益严重的今天，由于电动汽车的技术发展在过去的几年中已经取得了显著的进步，这使得它们能够更有效地利用电力，同时也降低了对化石燃料的依赖。政府因此给予大量地支持<sup>[1]</sup>。然而，电动汽车的飞速发展并没有完全解决能源危机。并网电动汽车在充电时会对电网产生很大的影响比如电网拥堵、波动和极端过载高峰<sup>[2]</sup>，使得电力供应系统面临着前所未有的压力。根据文献<sup>[3]</sup>可知大多数车辆在一天之内有 95% 时间是处于闲置的，这意味着它们可以在这个时间内被利用起来。它们可以被看做一种分布式储能装置，通过协调其充电和放电行为，可以为电网提供调峰服务。这样不仅使电动汽车充分利用，又可以减少对电网的影响。车辆到电网（V2G）架构作为革命性的技术，已经在全球引起广泛关注。这种技术可以进行电动车与电网间的双向能量交换，很明显地提高了能源效率，减少了传输损耗。通过在电网负荷低的时候充电，在电网负荷高的时候放电，V2G 不仅可以改善电网的稳定性，还可以对电动车的储能能力有效的利用，为电网提供有价值的服务。

然而，现有的集中式能源交易机制面临着多个问题。第一，这种集中式的系统往往容易产生单点故障，一旦出现问题，就可能会影响整个系统的运行。其次，这种系统也面临着安全和隐私威胁比如位置跟踪。最后更会由于安全漏洞等导致的故障，导致严重的事故。为了解决这些问题，我们需要一种新的机制，能够实现分布式的、便捷的、高效的和安全的能源交易。因此，我们引用了区块链技术。区块链<sup>[4]</sup>技术，作为一种新兴的信息技术，正好可以满足这些需求。它采用了去中心化的设计，可以避免单点故障的问题。同时，它的透明化和不可篡改的特性，可以确保交易的公正性和公平性。而且，区块链技术的全球包容性，也使得任何地方的电动车主都可以参与到这个系统中来。此外，区块链技术还具有分布式冗余和加密技术，使得它能够保护交易数据的安全，同时也保护了用户的隐私<sup>[5]</sup>。因此，区块链技术被认为是构建新型 V2G 能源交易机制的理想选择。

基于声誉的共识算法对于 V2G 和区块链的结合起到了关键的作用。这种算法以节点的过往声誉作为基础，赋予声誉高的节点更多的决策权，从而增强了系统的安全性和稳定性。通过鼓励良好行为，这种算法也提高了系统的效率，为实现高效的 V2G 能源交易机制提供了可能。

综上所述，车辆到电网（V2G）架构和区块链技术的结合，借助于基于声誉的共识算法，有可能为我们提供一种新型的、分布式的、安全的和高效的能源交易平台。这将极

大地推动电动车的发展，同时也为解决全球能源问题提供了新的思路。这种算法不仅增强了系统的安全性和稳定性，同时也提高了系统的效率，为实现高效的 V2G 能源交易机制提供了可能。

## 1.2 国内外现状

### 1.2.1 V2G 能源交易机制

随着电动汽车普及和推动，电动汽车日常的能源交易机制已经引起了工业和学术领域的深度关注。其中，V2G 是充电和放电的主要场景。

在 V2G 场景中，众多研究集中在充电站的电动汽车能量管理上。Zou 等人<sup>[6]</sup>针对有限范围内一定数量的电动车充电产生的协调问题，并构建了一个新的拍卖博弈，并且证明了电动汽车在充电期间的有效投标集构成了基础拍卖博弈的纳什均衡（NE）。Mohammadi 等人<sup>错误!未找到引用源。</sup>将插电式电动车（PEV）的合作充电（PEV-CC）问题建模成为一个凸形的多时间步骤问题，并采用了后退水平线，将反馈纳入决策流程中，来将充电成本变为最小化。Xu 等人<sup>[7]</sup>按照较少的松散度和较长的剩余处理时间（LLLP）的原则，为插电式（混合）电动车（PHEV）的调度实施了优先级排序，从而将总体成本最小化。Ghosh 等人<sup>[9]</sup>设计了一款基于菜单的电动车充电在线定价系统，该系统根据电动车的能量状况和充电所需要的时间来为每个想要充电的电动车设定价格。在<sup>[10]</sup>的研究中，由于电动汽车的充电需求无法与不稳定的风电发电匹配，作者考虑了建筑微电网，研究了电动汽车充电与当地风电发电的平衡，并提出了基于分布式模拟的策略改进（DSBPI）方法。在<sup>[11]</sup>的工作中，提出了一种基于快速滚动优化的随机预测能源管理策略，并将随机驾驶行为建模为基于马尔可夫链的 PHEV 需求扭矩的概率转换矩阵，来减少能源消耗和运行时间。为了达到与配电网运营商（DNOs）相关的特定经济目标，同时保证电动汽车从系统中获益，Su 等人<sup>[12]</sup>提出了一种基于遗传算法（GA）的滚动水平调度方法，在确保考虑电动汽车利益的同时，使 DNOs 的利润率变得最大化。在<sup>[13]</sup>的研究中，作者提出了一种拓扑感知的 V2G 能量交易机制，目的是来利用电动汽车的充电/放电功率进行调整有源配电系统的电压偏差。

### 1.2.2 共识算法

近年来，许多研究利用声誉来提高共识和区块链的效率和可扩展性。Proof-of-Reputation (PoR)<sup>[14]</sup>是一种区块链共识算法，其中声誉值最高的节点成为区块生成器，而排名前 20% 的节点成为区块的验证者。声誉值被存储在与存储交易信息的常规区块集成

的子区块中。Proof-of-Reputation-X (PoRX)<sup>[15]</sup>是一种改进 PoX 共识算法的方案即类似于 PoW 和 PoS 的共识算法，它包含一个声誉模块。根据节点的声誉值，为不同节点分配解决共识难题的不同难度级别<sup>[16]</sup>。

然而，大多数现有的工作更多地关注将声誉应用于分布式系统，而不是指定他们的声誉机制的实现细节，导致他们的实现方式要么被省略，要么被集中。ReCon<sup>[17]</sup>是一个可以与任何共识算法集成的声誉模块，一个基于节点声誉值概率性选择的节点集合负责做出共识决定。然而，如何维护节点的声誉值，以及非节点集合成员如何接受节点集合的选举结果，这些问题在现有的研究中并未详细解释。动态声誉实用拜占庭容错<sup>[18]</sup> (DBFT)是一种类似于 PoR 的共识算法，但只有排名前 60%的节点可以根据信用值的排名参与共识。为了完成包括计算信用值和选择领导节点在内的多个关键任务，一个集中监控节点是必不可少的。

与许多其他分布式系统类似，分布式声誉管理系统也可以通过区块链来实现。唐等人<sup>[19]</sup>实施了一个基于信任的框架，以实现物联网 (IoT) 场景中的跨平台协作。在这个框架中，信任信息通过全球区块链在不同的领域之间共享。基于信任的信誉也可以作为物联网协作参与的激励。同样，据<sup>[20]</sup>显示，由同行提供的机器对机器的应用服务也可以通过存储信誉信息的区块链进行评估。他们还提供了一个详尽而全面的信任评估框架。此外，文章<sup>[21]</sup>提供了关于基于区块链的信任和声誉管理文献的系统评估。

在能源领域，声誉机制也已经被应用于不同的能源场景。Khaqqi 等人<sup>[22]</sup>首先考虑了声誉对他们的排放交易系统中交易价格的影响。该系统将根据卖方/买方的声誉和出价/竞价价格为每个订单计算一个优先值，这决定了订单在配对过程中的可见性。在<sup>[23]</sup>提供的需求响应机制中，基于区块链的声誉系统评估最终用户和负荷聚合器的质量，这以类似的方式影响了与用户或聚合器匹配时的优先级。在智能合约的帮助下，这个声誉系统实现了自动声誉计算。

### 1.3 研究内容

本论文的研究内容是设计一种对于 V2G 的能源交易机制，并结合基于声誉的共识算法，已实现对于电动汽车能量交易行为的有效管理。在此过程中，我们致力于解决以下四个关键问题：

#### （1）建立基于区块链的 V2G 电力交易的框架：

我们需要深入研究并构建一个具有效率和公平性的 V2G 电力交易的框架。这个框架应当能够有效地描述和解析能源交易的整体过程，并展示基于区块链的 V2G 电力交易如何进行。



（2）明确定义并实现声誉规则及其更新过程：

我们计划设计一个基于声誉的系统，该系统应包括明确定义的声誉规则和声誉更新过程。我们的目标是创建一个能有效衡量各参与者在交易过程中行为的声誉系统，该系统应能在维护公平交易的同时，增强交易的安全性和可靠性。

（3）设计和分析基于声誉的共识算法的工作流程：

我们将设计并分析基于声誉的共识算法的工作流程。我们期望这个共识算法能够在 V2G 电力交易中提供一种有效的决策机制，使得基于区块链的交易过程更为安全、公正和透明。

（4）实验验证提出的 V2G 电力交易框架、声誉系统和共识算法的有效性：

我们将通过实验验证我们提出的 V2G 电力交易框架、声誉系统和共识算法的有效性。我们将设计并进行一系列的实验，模拟现实世界中的 V2G 电力交易环境，来检验我们的交易框架、声誉系统和共识算法是否能在实际中提高交易的效率和公平性。

## 1.4 论文组织结构

本文的研究内容主要可概括为三个部分，首先，针对在同一充电站内的电动车与电网之间的交易问题，所以本章设计了一个基于区块链的 V2G 能源交易机制，旨在实现电动汽车与电网之间的能源交易的优化匹配，提高交易效率和公平性。其次，针对交易机制中的共识算法需求，本文设计了一个基于声誉的共识算法，增强系统的安全性和稳定性，并激励良好行为，提高能源交易的效率。最后，本文将进行了区块链的能源交易共识算法的实验，来验证其有效性。从结构组织上，本文各个章节的内容如下：

第一章，绪论。第一，重点在于对于

## 第 2 章 基于区块链的能源交易机制

在城市车联网的背景下，针对充电站内的电动汽车与电网之间的能源交易问题，本章将提出一个基于区块链的 V2G 能源交易架构。该架构旨在实现电动汽车与电网之间的能源交易的优化匹配，提高交易效率和公平性。我们将通过论述该算法的设计原理和工作流程，探讨其在实际应用中的潜力和挑战。我们的目标是通过这种新的交易架构，提高 V2G 能源交易的效率和公平性，从而推动电动汽车和电网的互动发展。

### 2.1 系统架构

如图 2.1 所示，基于区块链的能源交易架构主体包括四个部分

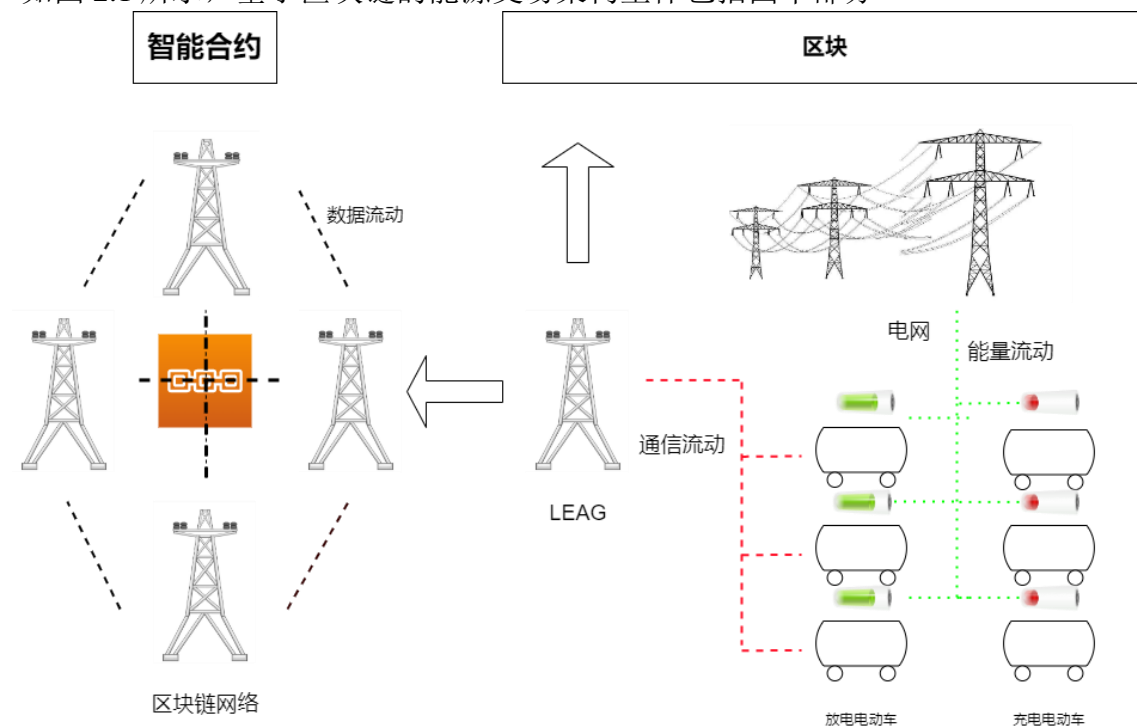


图 2.1 能源交易机制

1) 电动汽车：电动汽车作为一种新兴的电动交通工具，以其无污染、低噪音的驾驶方式及其独特的双向充电和放电系统，正在逐渐改变我们的出行方式。这些特性使电动汽车成为未来城市绿色出行的理想选择，并带来了一系列的环境和经济效益。电动汽车可以将自身的电池作为一个能源储存单元，根据自身的能源状态和需求，以及可接受的等待时间，选择作为电力买家、卖家或闲置用户参与到能源市场的交易中。电动汽车作为电力买家时，可以在电网负荷较低、电价较低的时段进行充电，以减少充电成本。作为电力卖家时，电动汽车可以在电网负荷较高、电价较高的时段向电网售电，以获得收益。作为闲置用户时，电动汽车可以通过提供电网调度服务，如需求响应和频率调节，

来获取报酬。这种灵活的能源交易方式，有助于优化电网运行，提高电力系统的经济性和可靠性。

2) **LEAGs**: 本地能源聚合器（LEAG）作为充电站的核心设备，负责提供全方位的能源交易服务。它不仅提供通信支持，保障电动车和充电站之间的信息交互流畅无阻，同时也负责信息采集，及时获取电动车的能源状态、需求和等待时间等信息。此外，LEAG 还负责能源定价，通过执行预设的智能合约，实现能源交易的自动化和透明化。LEAG 可以自动执行定价机制，并根据能源供需情况和市场价格，确保最佳的能源分配。LEAG 由交易服务器、账户服务器和存储服务器三个主要组成部分。交易服务器负责协调电动车的充电和放电活动，根据电动车的需求和电网的供应情况，调度电动车的充电和放电。账户服务器负责管理电动车用户的交易账户和数字钱包，保障交易的安全和顺利进行。存储服务器则负责保存所有的交易记录，并通过区块链技术，保护用户的隐私和匿名性。所有的交易记录都被保存在区块链中，这不仅保证了交易的透明度和不可篡改性，同时也有效保护了用户的隐私和匿名性。在区块链中，用户的身份信息被加密处理，只有持有相应私钥的人才能访问到。这样，即使交易记录被公开，用户的隐私信息也不会被泄露。

3) **电网**: 电网作为发电厂和变电站之间的重要连接，主要承担着电能的传输任务。从发电厂产生的电能，经由电网输送到变电站，再由变电站向消费者供电，形成了电能的完整传输链路。在这个系统中，电网的电价具有一定的稳定性，即在一定的时间内，电网的电价是恒定的。

然而，考虑到市场价格的影响，电动车的充电和放电价格需要受到一定的限制。为此，本地能源聚合器（LEAG）将电网的电价设定为电动车充电（作为买家）的价格上限，并将电网的电价设定为电动车放电（作为卖家）的价格下限。这一设定有助于引导电动车在电价合适的情况下进行充电和放电，既可以满足电动车的能源需求，又可以保证电网的电能供应。

4) **智能电表**: 智能电表作为电网的重要组成部分，不仅能够管理用电，还具有双向计量的功能。这种独特的功能使智能电表能够适应智能电网和新能源的发展。在智能电网中，电力的传输和分配需要精确的计量，而智能电表的双向计量功能正好可以满足这一需求。同样，在新能源的应用中，如电动车，智能电表也能够准确地计量电动车的充电和放电量，为电动车的能源管理提供了可靠的技术支持。

除此之外，智能电表的数据还可以用于电动车的能源管理和优化。通过分析这些数据，电动车可以了解自己的能源使用情况，从而制定出更合理的能源管理策略，提高能源的使用效率。同时，这些数据也可以为电网的运营商提供参考，帮助他们更好地理解和管理电网的运行状态，实现电网的高效运营。

## 2.2 能源交易过程

如图 2.2 所示能源交易是电动汽车和电网之间的重要互动过程，也是实现能源高效利用的关键手段。在这个过程中，电动汽车会根据自身的能源状态和需求，决定是从电网购买能源，还是向电网出售自身多余的能源，或者与其他电动汽车进行能源交易。这种交易方式不仅可以满足电动汽车的能源需求，也可以有效地利用电动汽车的能源存储和发电能力，实现能源的最大化利用。为了协调这些能源交易，本地能源聚合器（LEAG）起到了关键的作用。LEAG 通过智能合约来实现能源交易的协调，包括定价、分配和结算等环节。在处理能源交易的过程中，LEAG 会收集所有的交易记录，包括交易的双方、交易的数量、交易的时间等信息。这些交易记录不仅可以用于跟踪和管理能源交易，也可以为能源交易的审计和验证提供数据支持。为了确保交易记录的准确性和完整性，LEAG 还会利用共识算法进行交易的审计和验证。经过审计和验证的交易记录，会被写入到区块中，并生成区块链。这个交易过程包括下面五个步骤：

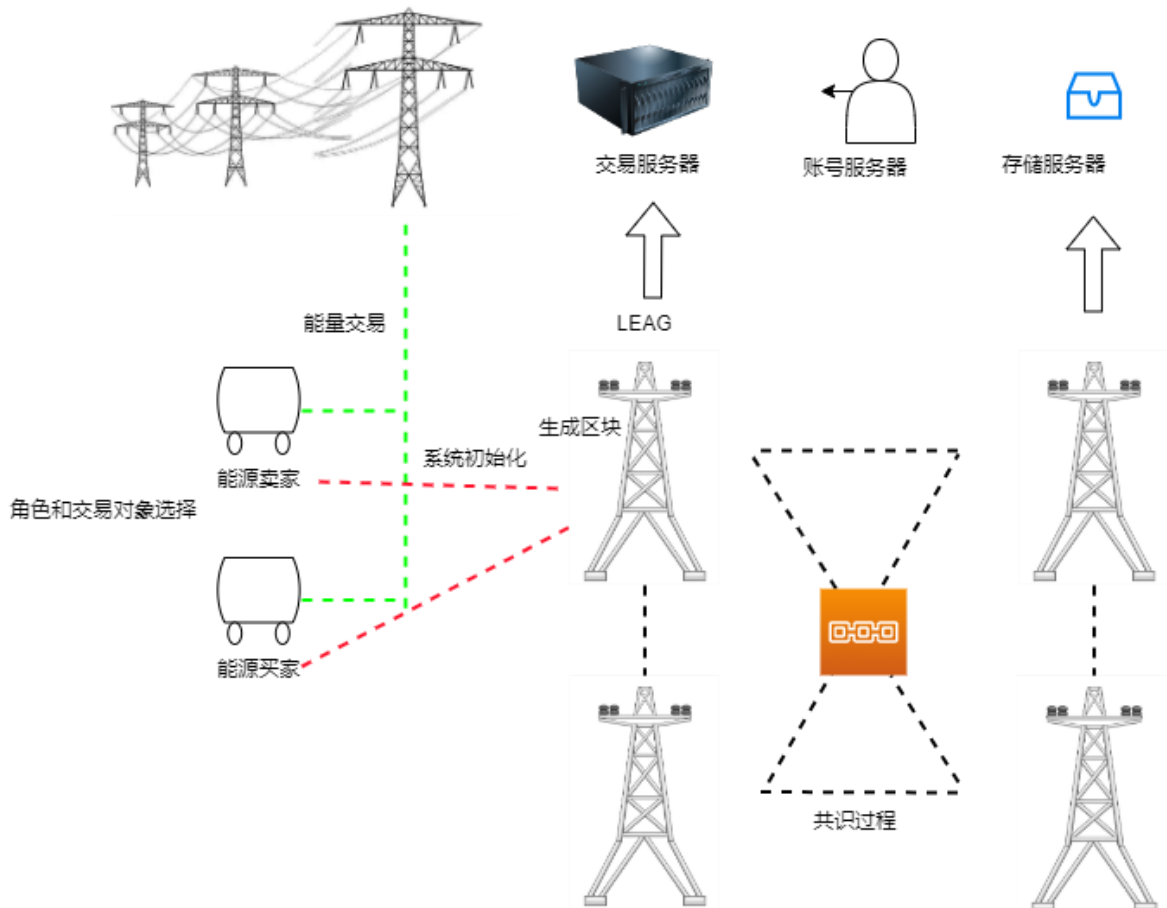


图 2.2 能量交易流程

1) 系统初始化：本地能源聚合器（LEAG）和电动汽车在参与能源交易之前，需要向相应的授权机构进行注册，以获得合法实体的地位。然后电动汽车通过接入 LEAG，可

以加入到区块链系统中，成为区块链网络的一部分，获得合法身份  $I_i$ 。在加入区块链系统的过程中，电动汽车会得到一对公钥和私钥  $(PK_i, SK_i)$ 。公钥用于加密数据，私钥用于解密数据，这种基于公钥和私钥的数据加密和解密方法，被称为非对称加密算法。非对称加密算法可以有效地保护数据的安全，防止数据在传输过程中被窃取或篡改。同时，非对称加密算法也保证了每个用户的数据隐私，因为只有用户自己能解密和访问自己的数据。电动汽车需要向 LEAG 申请一组随机钱包地址  $\{RWA_{i,n}\}_{n=1}^N$ ，其中  $N$  是能够从 LEAG 中获得的钱包地址总的数目。每个电动车都有一个交易的账号  $A_i$ ，其中  $A_i = \{I_i, PK_i, SK_i, RWA_{i,n}\}$ ；这个钱包地址在以后的能源交易中，将作为电动汽车的唯一标识。在申请到钱包地址后，电动汽车会拥有一个存储在 LEAG 账户服务器上的交易账户，用于管理和记录所有的能源交易。随后，电动汽车会进入初始化过程。在这个过程中，电动汽车需要将自己的钱包地址上传到 LEAG。LEAG 会对上传的钱包地址进行验证，确保其的完整性和正确性。这是一个非常重要的步骤，因为只有正确的钱包地址才能保证电动汽车能正确地参与到能源交易中。初始化过程完成后，电动汽车需要从 LEAG 的存储服务器上下载自己的钱包数据。

2) 角色和交易对象选择：电动汽车 (EV) 在参与能源交易时，必须基于自身的能量状态和需求做出合理决策。例如，一辆电量充足的电动汽车可能选择充当卖家，向电网或其他电动汽车出售能源。反之，一辆电量不足的电动汽车则可能需要作为买家参与能源交易，从电网或其他电动汽车那里购买能源。电动汽车在选择交易对象时，需要权衡不同的因素。如果选择与电网进行交易，其优点是交易可以立即执行，因为电网通常具备稳定的能源供应。然而，电网的电价相对稳定，这可能限制了电动汽车获取更高收益的可能性。

3) 能源交易：电动汽车在需要电能时，会选择与电网进行交易。这些电动汽车，作为能量购买者，将直接按照电网提供的价格从电网购买电能。另一方面，当电动汽车有能源余量时，它们可以选择将电能卖回电网。这些电动汽车，作为能量销售者，将向 LEAG 的交易服务器发送销售请求，其中包括其能量供应、初始预期销售价格以及最低可接受的销售价格。当交易服务器收集了一段时间的所有交易请求后，会自动启动预先部署在交易服务器上的智能合约。智能合约作为一个能量拍卖商，执行定价和能量分配算法，以实现能量的最优定价和最优分配。然后，LEAG 将算法结果提供给电动汽车，由电动汽车内置的智能电表控制，电动汽车根据最优交易方案与电网进行交易。

4) 生成区块：LEAG 以其独特的方式处理交易记录。首先，LEAG 收集本地的交易记录，这些交易记录会经过加密处理，并附上数字签名以确保其完整性和安全性。这些经过处理的交易记录会被组织成一个存储结构，称为区块。每个区块都有自己的结构，包括版本号 (Version)、输入数量 (NumInputs)、输入信息 (Inputs)、输出数量

（NumOutputs）、输出信息（Outputs）以及锁定时间（LockTime）。这些信息都以特定的格式存储在区块内部。这样的设计使得区块能够有效地存储并记录交易信息。然后，这些区块通过时间戳的顺序被链接在一起，形成了一种称为区块链的数据结构。区块链是一个公开的、分布式的数据库，它包含了所有经过验证的交易信息。每个区块的头部信息（Block Header）还包含了一些重要的数据，包括父块的哈希值、版本号（Version）、Merkle 根以及时间戳等。父块的哈希值用于引用前一个块，确保区块链的连续性和完整性。Merkle 根是一个数据结构，用于对区块内的所有交易进行快速验证和查找。

5) 共识过程：基于信誉的共识算法是一种独特的共识算法，其主要特点是引入了信誉机制，使每个节点的行为都受到其信誉值的影响。这种算法的设计理念是认为，节点的行为和其信誉值是密切相关的。良好的节点，其信誉值应该高；而恶意的节点，其信誉值应该低。在共识过程中，每个节点都需要通过发送准备和提交消息来参与共识。良好节点的行为通常会遵循共识规则，而恶意节点则可能会试图破坏共识过程。基于信誉的共识算法通过不断地调整各个节点的信誉值，来鼓励良好节点的行为，同时抑制恶意节点的行为。这样，良好节点的信誉值随着时间的推移会逐渐增加，而恶意节点的信誉值则会逐渐减少。基于信誉的共识算法的另一个优点是，其能够显著提高系统的效率。由于良好节点的信誉值高，因此它们在共识过程中的影响力也会相应地增加。这意味着，良好节点能够更快地达成共识，从而降低了共识过程的延迟，提高了系统的吞吐量。

总的来说，基于信誉的共识算法通过信誉机制引入了公平性和效率性，使得共识过程更为公正、高效。这种算法非常适合于文章提出的系统，能够有效地处理各种复杂的场景，同时也能够抵抗各种攻击，保证系统的安全性。

## 第 3 章 基于声誉的共识算法设计

在城市车联网的背景下，针对能源交易机制中共识算法，本章将提出一个基于声誉的共识算法设计。该算法旨在解决能源交易中的安全性和效率问题，同时提升交易的公平性和可信度。我们将详细讨论该算法的设计原理和工作流程，包括声誉的计算与更新规则，以及分布式实现的方法。通过引入声誉作为决策依据，我们可以增强系统的安全性和稳定性，并激励良好行为，提高能源交易的效率。通过本章的研究，我们的目标是为基于区块链的 V2G 能源交易机制提供有效的理论和实践支持，进一步促进电动汽车和电网的互动发展。

### 3.1 基于声誉的共识算法的基本原理

基于声誉的共识算法在区块链中的应用主要是为了提高共识效率和系统的可扩展性。在这种算法中，声誉或信誉成为了决定节点在共识过程中权重的关键因素。这种算法的基本思想是，一个节点在网络中的声誉越高，其在共识决策中的影响力就越大。

在分布式能源交易系统中，区块链可以被集成进来，以去除中心化的交易中介，并以透明且不可更改的方式存储交易记录。基于声誉的共识算法可以通过实现委托共识来提高区块链的效率。委托共识是一种有效的方式，可以通过减少共识节点的数量来减少客户端的延迟并提高服务器的吞吐量。由于达成共识需要大量的消息通信，减少共识所需的参与者可以减少共识节点中的消息处理工作量，从而提高达成共识的速度。

在一个新的包含交易记录的区块生成时，它需要通过共识在可以添加到链中之前得到分布式节点的批准。共识算法用于防止双重支出交易，其中同一资产在多个交易中被消费。与常见的共识算法不同，一个委托共识的实例不会涉及所有的共识节点。通常，委托共识会形成一个包含有较高声誉分数的共识节点的投票委员会，而批准交易的共识过程只在委员会成员之间达成。

此外，基于声誉的区块链在容错能力方面表现出了优越性。当错误率超过一定阈值时，基于声誉的区块链的吞吐量仍能保持在一个较高的水平，这表明了其在错误容忍方面的优势。

### 3.2 声誉框架

基于声誉的共识算法的主要目标是维护一个全面评估每个参与者在各种角色中行为的声誉评分，这个评分是根据既定的规则来计算的。如图 2 所示，该算法的架构由三个主要部分组成：角色、规则和声誉。我们将对每个部分进行详细的阐述。

### 3.2.1 角色

在 V2G 的环境下，分别有两种不同的角色可以供电动汽车选择：

**能源卖家（Energy Seller）：**电动汽车的使用者不仅可以作为能源买家使用电网供电，同时也可以作为能源卖家，将车辆中剩余的电能卖回电网或者其他电动汽车用户。他们通过家庭屋顶的光伏板或其他可再生能源发电设备充电，然后在电量充足，而自身需求不大的情况下，将电能卖出，成为一种“双向用户”（Prosumers）。他们可以通过 P2P 交易平台，将自己车辆中的多余能源出售给其他用户，实现能源的最大化利用。

**能源买家（Energy Buyer）：**电动汽车用户也可以作为能源买家，根据自己的需求从 P2P 交易平台购买能源。例如，当电动汽车的电量不足时，他们可以选择购买其他电动汽车用户或者电网中的剩余电能。这种方式既灵活又高效，能源买家可以根据自己的实际需求，自由选择购买哪些能源，购买多少能源，从而满足他们的能源需求。在此过程中，能源的使用效率得到提高，对环境的影响也得到了减少。

当然，电动汽车也可以当做电动调度参与者（Grid Balancing Participant）参与 V2G 当中，但是作为上述两种角色已经可以完成声誉评分的整个过程了，所以就没有讨论电动调度参与者这一身份。

### 3.2.2 规则

在 V2G（车辆到电网）系统中，实际世界的信任系统起着至关重要的作用。这些信任系统根据预先设定的规则来评估并指导参与者的行为，这些规则被融入了一个专门的规则模块中。在这个模块的指导下，电动汽车、电力供应商、电网运营商和其他各方参与者都被赋予了特定的角色，其行为必须符合规定的规则。

这些规则的存在和实施为各参与者提供了行为准则，定义了他们在 V2G 系统中的角色和责任。例如，规定了如何以公平、有效的方式进行能源交易，如何根据实际电量和需求调整角色，以及如何在电网中维持能源平衡。

此外，这些规则还被用作计算和更新声誉分数的标准。声誉分数是评价参与者在 V2G 系统中行为表现的重要指标。遵守规则的行为会增加声誉分数，反映出参与者的可信度和可靠性。相反，违反规则的行为会导致声誉分数的减少，这可能会影响到参与者在系统中的角色和权益。

### 3.2.3 声誉计算

在声誉的框架中，声誉的分数被分别储存在一个三元组中： $\langle R, R_{ES}, R_{EB} \rangle$ 。其中，



$R, R_{ES}, R_{EB} \in [0,1]$ ,  $R$  被称作为综合信誉的分数,  $R_{ES}$  被称为能源卖方的声誉得分,  $R_{EB}$  被称为能源买方的声誉得分。  $R_{ES}$  和  $R_{EB}$  是根据规定的规则计算的, 而  $R$  则在下面的方法中计算出来的。作为新用户的情况下, 默认为  $R_{ES} = R_{EB} = 0.5$ 。

综合声誉有很多种不同的方式可以计算, 为了简单起见, 本文将定义  $R$  为  $R_{ES}$  和  $R_{EB}$  的线性组合:

$$R = \frac{\omega_{ES}\chi_{ES}R_{ES} + \omega_{EB}\chi_{EB}R_{EB}}{\omega_{ES}\chi_{ES} + \omega_{EB}\chi_{EB}} \quad (1.1)$$

其中,  $\omega_{ES}, \omega_{EB} > 0$  是重要性因素。  $\chi_{ES}, \chi_{EB}$  是特征系数, 被定义为:

$$\chi_{ES} = \begin{cases} 1 & \text{参与者是能源卖家;} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$\chi_{EB} = \begin{cases} 1 & \text{参与者是能源卖家;} \\ 0 & \text{其他。} \end{cases}$$

每个参与者的声誉分数是根据其在系统中的行为表现来计算的。重要性因子可以根据实际用处来更改。例如,  $\omega_{ES}$  的增加能源售卖的重要性。为了简化模型, 我们设  $\omega_{ES} = \omega_{EB} = 1$ , 使得所有行为对声誉分数的影响均等。并且, 由于默认情况下当每个参与者能源买家时,  $\chi_{EB} = 1$ , 避免了零除问题。

在最后, 我们定义了一个声誉的下限  $R_{\min}$ 。如果一个用户的声誉得分低于下线的时候, 我们将把他视为不可以信任的。并且如果没有别的用户同意的情况, 他是没法恢复到声誉下限以上的。在这里, 我们设定  $R_{\min} = 0.2$

### 3.2.4 声誉的更新

声誉系统参与者的信誉分数的更新如下:

ES-1. 当交易订单的供应成功执行时, 卖家的声誉会发生变化:

$$R_{ES}(i) \leftarrow \min \left\{ 1, \max \left\{ 0, R_{ES}(i) + R_{ES}^+(i) \right\} \right\} \quad (1.2)$$

其中,  $R_{ES}^+(i)$  与总的成功供应量与成功交易执行次数的比例以及距离上次声誉分数下降的时间正相关。

ES-2. 当交易订单的供应失败时, 卖家的声誉会发生变化:

$$R_{ES}(i) \leftarrow \min \left\{ 1, \max \left\{ 0, R_{ES}(i) - R_{ES}^-(i) \right\} \right\} \quad (1.3)$$

其中,  $R_{ES}^-(i)$  与总的失败供应量与失败交易执行次数的比例正相关, 与距离上次声誉分数下降的时间负相关。

EB-1. 当交易订单的消费成功执行时, 买家的声誉会发生变化:

$$R_{EB}(i) \leftarrow \min \left\{ 1, \max \left\{ 0, R_{EB}(i) + R_{EB}^+(i) \right\} \right\} \quad (1.4)$$

其中， $R_{EB}^+(i)$  与总成功能源消耗量与成功交易执行次数的比例以及距离上次声誉分数下降的时间正相关。

EB-2. 当交易订单的消费失败时，买家的声誉会发生变化：

$$R_{ES}(i) \leftarrow \min \left\{ 1, \max \left\{ 0, R_{ES}(i) - R_{ES}^-(i) \right\} \right\}, \quad (1.5)$$

其中， $R_{ES}^-(i)$  与总失败消费量与失败交易执行次数的比例正相关，与距离上次声誉分数下降的时间负相关。

这些规则也可以被转化为智能合约，以实现自动化操作，从而避免在手动计算过程中可能出现的错误或篡改。

### 3.2.5 分布式的实现

在声誉机制实施分布式时，声誉系统应被所有参与者共享和维护，而非被少数人控制。这种机制可以监控参与者行为，以及更新和分享声誉分数，从而规范行为并防止篡改。然而，随着参与者数量的增长，数据冗余问题会显著增加，因此需要有效的方法来存储声誉分数。

如图 3 所示，实现主要包含三个部分：

**分布式账单：**在区块链系统中，声誉分数存储于分布式账单中，确保了系统的透明性和对恶意篡改的鲁棒性。由于区块链采用链表结构，声誉分数的变化具有良好的可追溯性。

**智能合约：**声誉框架的规则模块通过智能合约的脚本形式实现，满足特定的执行条件后，脚本将自动更新数据库中的声誉分数。所有与智能合约相关的操作，如创建、删除和修改，都将向所有参与者广播。

**参与者：**参与者可以通过查询分布式数据库进行声誉查询。当收到智能合约的修改请求时，参与者会运行分布式共识协议，对变更进行投票，决定是否批准或否决该变更。

## 3.3 共识算法的工作流程

在 V2G 环境中，我们的系统包括四个主要的实体：注册机构（RA）、充电站（CSs）、电动汽车（EVs）和本地聚合组（LEAGs）。所有的这些实体都通过区块链网络进行互联，并参与到能源交易中。

1. 注册和身份验证：首先，EVs 和 CSs 需要向 RA 发送注册请求。RA 会为每个实体生成一个公私钥对，用于身份验证和交易签名。

2. 能源交易请求：当 EV 需要充电时，它会向 LEAGs 发送一个能源购买请求。同样，当 CS 有可供出售的能源时，它也会向 LEAGs 发送一个能源销售请求。

3. 交易匹配：LEAGs 会根据 EVs 的需求和 CSs 的供应来匹配交易。匹配的结果会被广播到所有的节点，以便他们可以验证交易的有效性。

4. 交易验证：所有的节点都会验证交易的有效性。这包括检查交易的签名、比较交易的价格和市场价格，以及检查交易双方的声誉值。只有当大多数节点都确认交易的有效性时，交易才会被接受。

5. 声誉更新：每次成功的交易都会增加交易双方的声誉值，而每次失败的交易都会降低交易双方的声誉值。声誉值的更新是根据你在 3.2.4 节 "声誉的更新"中描述的规则进行的。

6. 区块创建：每当有一定数量的交易被验证和接受后，一个新的区块就会被创建。区块的创建是由声誉值最高的节点（也就是矿工）进行的。新的区块会包含所有已经被接受的交易，以及一个指向前一个区块的链接。

7. 区块验证：新的区块会被广播到所有的节点，以便他们可以验证区块的有效性。这包括检查区块的结构、验证区块中的所有交易，以及比较区块的哈希值和前一个区块的链接。只有当大多数节点都确认区块的有效性时，区块才会被接受，并添加到区块链中。

这个工作流程确保了所有的交易都是公开、透明和可验证的，同时也保证了只有声誉值高的节点才能成为矿工并创建新的区块。这样，我们的系统就可以有效地防止欺诈行为，同时也能保证交易的公正性和公平性。

此外，由于所有的交易都是基于声誉的，所以节点们都有动机去维护他们的声誉值。这意味着他们会更愿意遵守规则，完成交易，而不是试图欺诈系统。这样，我们的系统就可以更有效地促进能源的交易，同时也能提高 V2G 环境中的能源效率。

## 第4章 实验

在上一章节，我们深入讨论了基于声誉的共识算法设计，并构建了一个声誉框架。这个框架为我们的研究提供了坚实的理论基础，并帮助我们理解区块链技术如何在 V2G 能源交易中发挥作用。然而，要真正理解和应用这些理论，我们需要将它们应用于实践中，观察其在实际操作中的效果。

为此，我们在这一章中，将进行一次模拟实验，通过创建一个简单的区块链系统，来模拟在 V2G 环境中的交易过程。我们将模拟建立多个节点，处理交易，挖掘新的区块，并通过共识算法来解决可能的冲突。我们希望通过这一实验，能够更好地理解如何在 V2G 环境中应用区块链技术，以及这种方法的潜力和限制。

### 4.1 案例研究

本文的案例研究是建立在 python、postman 软件上的。在我们的实验中，Python 和 Postman 各自都扮演着关键角色。

#### 4.1.1 实验软件

本实验主要使用了以下的软件工具：

**Python:** Python 是一种面向对象的高级编程语言，广泛应用于各种不同的计算和开发场景。在我们的实验中，Python 被用于编写区块链的核心代码和逻辑。

**Flask:** Flask 是一个用 Python 编写的轻量级 Web 服务程序。我们使用 Flask 创建了区块链的 HTTP API 接口，这使得我们可以通过网络进行区块链的操作和交互。

**Postman:** Postman 是一个强大的 API 测试工具，可以用于发送各种 HTTP 请求，检查服务器的响应。在我们的实验中，我们使用 Postman 来向 Flask 服务器发送请求，创建新的交易，挖掘新的区块，查看整个区块链，以及解决链条冲突。

这些软件工具都是开源的，因此可以在任何兼容的环境中自由使用。我们的代码也是开源的，这意味着任何人都可以查看我们的代码，复现我们的实验，或者在我们的基础上进行进一步的研究和开发。

#### 4.1.2 实验步骤

我们在编写 python 代码的时候，我们遵循以下的步骤进行编写：

- 1.创建新区块：生成新的区块，包含交易记录、上一个区块的哈希值和区块自身的标

识哈希值。

2.创建新交易：实现新的交易并添加到当前区块，记录相关信息，如交易双方、交易量和交易时间。

3.生成区块哈希值：计算当前区块内容的哈希值，确保数据的一致性和完整性。

4.返回最后一个区块：编写函数返回链中的最后一个区块，供后续操作使用。

5.工作量证明：实现自定义的工作量证明算法，寻找一个数  $p$ ，使得它与前一个区块的 proof 拼接成的字符串的哈希值以 4 个零开头，以确保区块链的安全性。

6.使用 Flask 框架建立区块服务器：利用 Python 的轻量级 Flask 框架搭建区块链服务器，通过 HTTP 请求访问区块链的端点。实现以下三个方法：

-/transactions/new：创建新的交易并加入当前区块。

-/mine：指导服务器进行新区块的挖掘工作。

-/chain：返回整个区块链，用于查看和验证。

7.实现分布式共识算法：设计并实现分布式共识算法，确保区块链系统在多个节点之间的一致性。

-验证区块链有效性：编写方法对整个链进行校验，保证区块链的完整性和一致性。

-注册节点：编写方法允许新节点加入区块链网络，以实现持续扩展。

-解决冲突：处理不一致情况，确保所有节点维护一致的链。

在结束完编写 python 代码之后储存在 blockchain.py，我们将在 postman 里面进行操作，操作步骤如下：

1.先运行 blockchain.py 文件 5000 上创造另一个节点 5001，然后将 blockchain.py 里面的代码复制到 blockchain2.py 中，此时只需要替换 blockchain2.py 里面的一个端口号为 5001，如图 4.1 所示



```

if __name__ == '__main__':
    # app.run(host='0.0.0.0', port=5000)
    parser = ArgumentParser() # 创建一个参数接收的解释器，由此对象（这里是：parser）来负责解释参数信息
    # 相关参考：https://www.jb51.net/article/179189.htm
    parser.add_argument('-p', '--port', default=5001, type=int, help='port to listen on')
    args = parser.parse_args() # 通过parse_args()方法尝试对收到的参数关键字进行解释
    port = args.port # 从args对象中取出其中的参数关键字--port 参数的内容，也可能是获取到预设的默认值
    app.run(host='0.0.0.0', port=port)
    
```

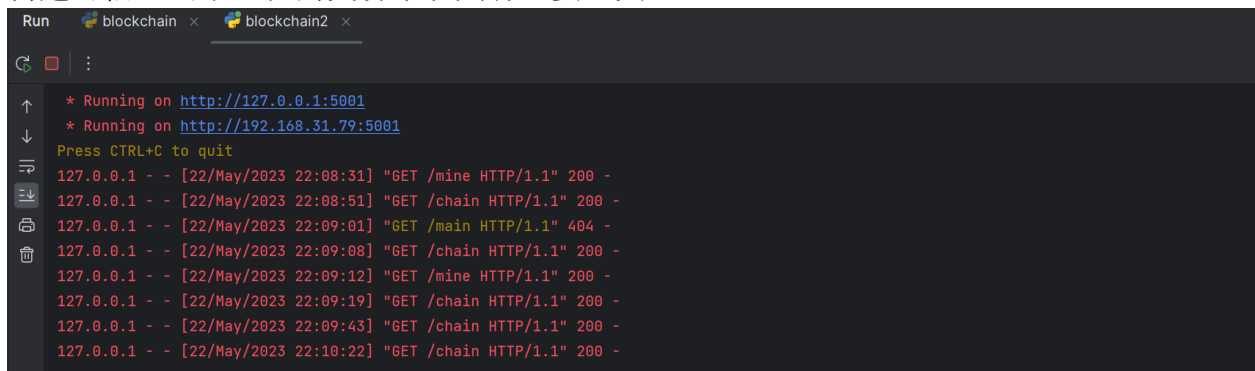
图 4.1 blockchain2.py 改变

- 2.再运行 blockchain2.py，在第二个节点增加更长的链条。
- 3.查看确保第一节节点第二节链条短。
- 4.之后，我在第一个节点上调用 GET / nodes / resolve，使第一节节点与第二节节点保持一致。
- 5.查看运行共识机制后第一节节点链条、第二节节点链条。

### 4.1.3 实验结果

在本次实验中，我们模拟一个区块链上链的过程，创建了两个区块链节点，并进行了一系列的交易操作。我们在第一个节点创建交易后，该交易被确认并记载在区块链上，随后，在第二个节点进行一系列交易之后，也被确认并记载在区块链上。我们通过共识机制，无论在第一节节点还是第二节节点创建的交易，都能被另一节点正确地接受并记录，这证明了区块链网络中共识算法的有效性和可靠性。如图 4.2，python 中也会准确地记载交易的过程。在完成这一系列操作后，如图 4.3、图 4.4 可以看到此时，第一节节点与第二节节点保持一致。

通过这个实验，我们验证了区块链的分布式特性和共识机制的作用。区块链技术能够确保交易的安全性和一致性，使得节点之间的数据同步和交易确认成为可能。这对于构建可信、去中心化的交易系统具有重要意义。



```

Run  blockchain  blockchain2
* Running on http://127.0.0.1:5001
* Running on http://192.168.31.79:5001
Press CTRL+C to quit
127.0.0.1 - - [22/May/2023 22:08:31] "GET /mine HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/May/2023 22:08:51] "GET /chain HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/May/2023 22:09:01] "GET /main HTTP/1.1" 404 -
127.0.0.1 - - [22/May/2023 22:09:08] "GET /chain HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/May/2023 22:09:12] "GET /mine HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/May/2023 22:09:19] "GET /chain HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/May/2023 22:09:43] "GET /chain HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/May/2023 22:10:22] "GET /chain HTTP/1.1" 200 -
    
```

图 4.2 python 运行结果

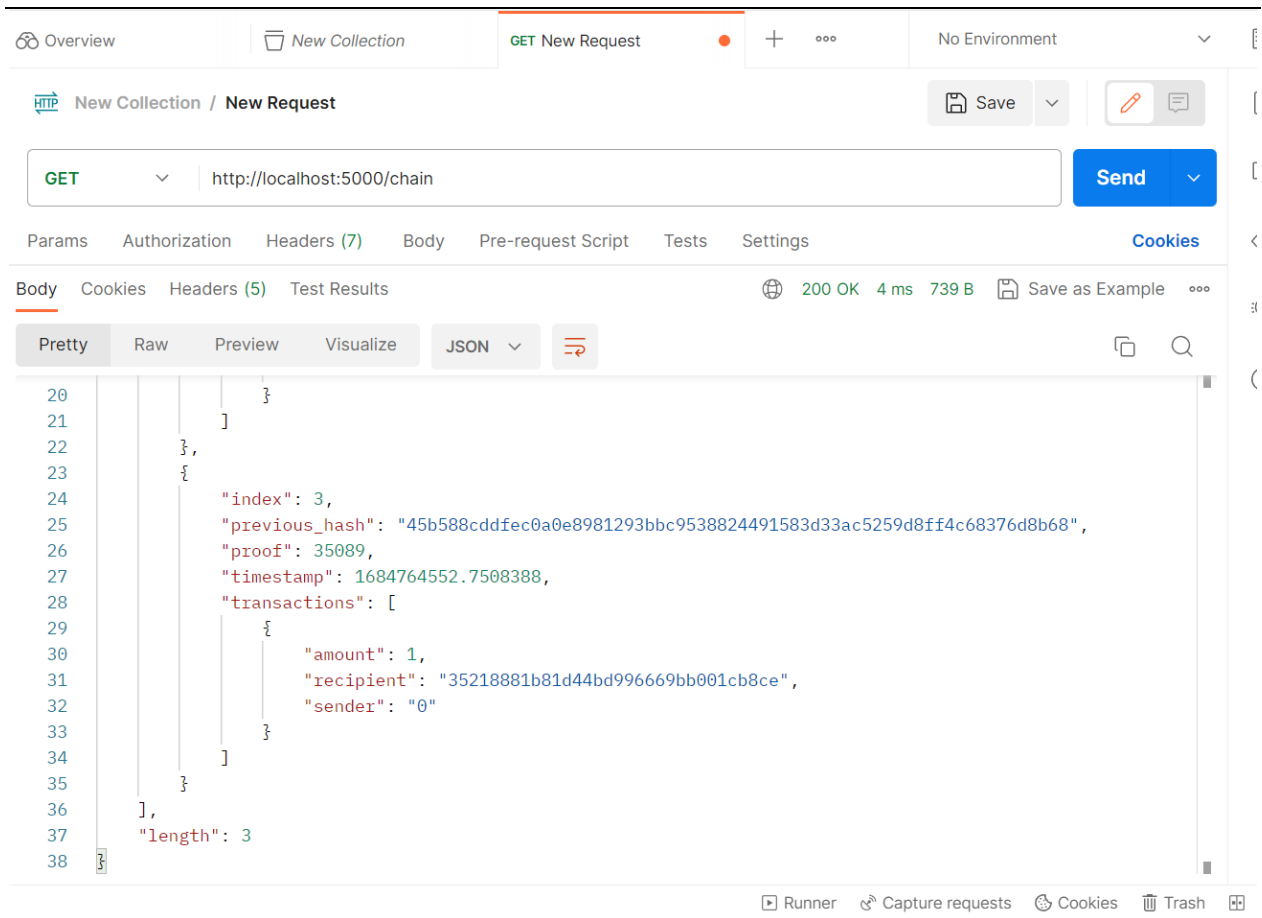


图 4.3 节点一的链条

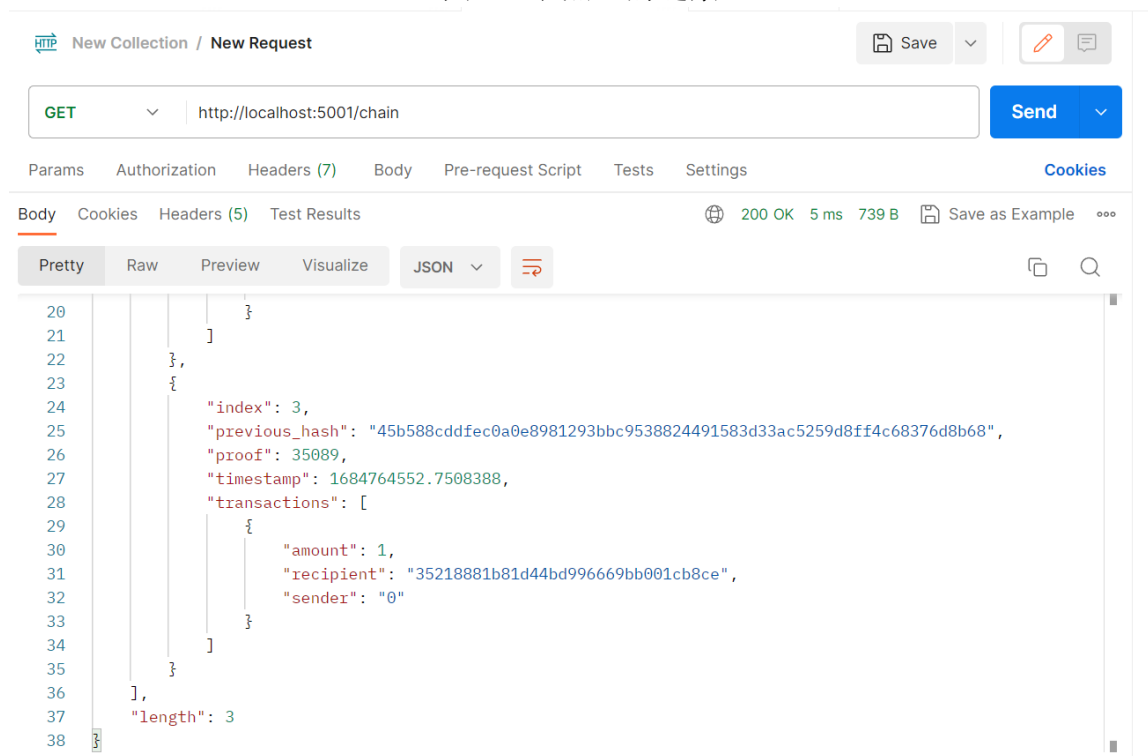


图 4.4 节点二的链条

## 4.2 性能分析

安全性和效率是共识算法设计中的两个关键考虑因素。声誉证明（PoR）作为一种基于声誉的共识算法，在提高系统安全性和提升效率方面具有独特的优势。

首先，PoR 通过评估网络参与者的声誉来增强系统的安全性。节点的声誉值是基于其在网络中的行为计算得出的，具有高声誉值的节点被视为可信任的，并在共识过程中拥有更大的影响力和权重。这种机制有效地防止了恶意行为，因为节点的声誉值约束了它们在共识过程中的影响力，降低了潜在的攻击能力。

其次，PoR 在共识过程的设计中注重效率。与传统的工作量证明（PoW）算法相比，PoR 不需要大量的计算工作或资源消耗。共识决策是基于节点声誉值的评估和比较进行的，而非通过解决计算难题的竞争。这样一来，PoR 能够更快速地达成共识决策，减少了计算和验证的负担，提高了整个系统的处理能力和效率。

总的来说，PoR 算法在提供系统安全性的同时，能够保持较高的效率。然而，需要注意的是，实际的安全性和效率受多个因素的影响，包括算法的具体实现、网络规模和参与者行为等。因此，在应用 PoR 算法时，需要进行充分的测试和评估，以确保其在实际环境中能够提供足够的安全性和效率。



## 第 5 章 总结与展望

本章将全面地重新审视我们的整个研究项目，对关键的研究主题进行梳理和概括，并对我们的成就以及尚待改进的地方进行深入分析，以为未来的研究提供指导和启发。

### 5.1 本文工作总结

本文针对城市车联网下电动汽车与电网之间的能源交易问题展开深入研究。首先，本文详细阐述了城市车联网的现状，电动汽车能源交易管理的挑战，以及区块链在能源交易领域的应用情况。此外，本文也对车联网、区块链技术以及共识算法进行了简单的介绍。在这个基础上，我们发现当前电动汽车能源交易中存在着一些关键问题：1）随着电动汽车数量的急剧增加，配电网出现了拥堵、波动和极端过载等问题；2）现有的能源交易机制缺乏分布式的特性，效率 and 安全性都有待提高；3）在能源交易中，如何处理交易参与者的信誉问题，保证交易的公正性，也是一大挑战。

为了解决这些问题，本文进行了以下的研究：

首先，我们构建了一个基于区块链的 V2G 能源交易架构。该架构中，我们在每个充电站部署了一个本地能源聚合器（LEAG），LEAG 作为区块链节点，备份所有的区块链数据，与其他节点共同维护区块链，并收集和验证能源交易记录。我们设计了一套详细的能源交易过程，并将其纳入区块链中。然而，我们并没有涉及到能源的定价和分配问题，这将是未来工作的重点。

其次，我们设计了一个基于声誉的共识算法。我们构建了一个声誉框架，该框架包括角色定义、规则制定、声誉计算、声誉更新等环节，以处理能源交易中的信誉问题。通过声誉框架，我们能有效地管理和控制区块链网络中的恶意行为，从而确保交易的公平性。

在本文中，我们还通过模拟实验搭建了一个简单的区块链系统，来模拟 V2G 环境中的交易过程。我们模拟建立了多个节点，处理交易，挖掘新的区块，并通过共识算法来解决可能的冲突。在这个过程中，我们证明了当存在一个更长的链时，该链可以有效地替换现有的短链，从而保证了区块链的持续和有效运行。

本文的主要贡献在于，我们构建了基于区块链的 V2G 电力交易架构，设计了一套详细的能源交易过程，并提出了基于声誉的共识算法和声誉框架，有效地解决了能源交易中的信誉问题。我们通过实验验证了这一交易架构和共识算法在保证交易效率和公平性方面的实际效果。本文的工作为进一步研究和解决电动汽车能源交易中的问题提供了一个重要的框架和基础。

## 5.2 未来工作展望

本文通过结合区块链的分散性和不可篡改特性，以及声誉的框架，成功地解决了在不同场景下电动汽车充放电需求问题。我们提出了相应的技术路线，然而，本研究的解决方案仍存在一些不足，需要在未来的工作中进一步完善和解决，主要包括以下几个方面：

1) 在当前的解决方案中，我们针对单个充电站内的电动汽车进行了能量交易管理。然而，这种局限于单一充电站内的交易方式，使得电动汽车之间无法跨 LEAG 进行能量交易。这在一定程度上限制了交易的灵活性，可能会影响到用户的体验。因此，未来的工作可以考虑如何实现跨 LEAG 的能量交易。

2) 虽然我们设计了一套基于声誉的共识算法，有效地处理了交易参与者的信誉问题，但在实际操作中可能存在问题。例如，如何确保声誉评估的公正性和准确性，以及如何处理声誉伪造等恶意行为。这些都是未来我们需要进一步研究的问题。

3) 我们的区块链交易系统尚未涉及到能源定价和分配问题。在未来的工作中，我们可以研究如何根据市场情况和供需关系，设计出一个公平且能够反映能源价值的定价机制。同时，我们也需要研究如何在保证公平性的前提下，进行能源分配。

4) 我们的模拟实验主要是在一个简单的区块链系统上进行的。在未来，我们可以尝试在更复杂、更接近实际的环境中进行实验，以验证我们的方案在实际环境中的可行性和效果。

## 参考文献

- [1] Bradley T H,Quinn C W. Analysis of plug-in hybrid electric vehicle utility factors[J]. Journal of Power Sources,2010,195(16):5399-5408.
- [2] Monigatti P , Apperley M , Rogers B. Smart energy interfaces for electric vehicles[C] International Working Conference on Advanced Visual Interfaces.ACM,2014.
- [3] Pustisek M , Kos A , Sedlar U . Blockchain Based Autonomous Selection of Electric Vehicle Charging Station[C] International Conference on Identification.IEEE,2018.
- [4] Chattejee R , Chatterjee R. An Overview of the Emerging Technology: Blockchain[C] International Conference on Computational Intelligence & Networks.IEEE,2018.
- [5] 姚忠将, 葛敬国. 关于区块链原理及应用的综述[J]. 科研信息化技术与应用, 2017, 8(2): 3-17.
- [6] S. Zou, Z. Ma, X. Liu, and I. Hiskens. An efficient game for coordinating electric vehicle charging[J]. IEEE Trans. Autom. Control, 2017, 62(5):2374–2389.
- [7] J. Mohammadi, G. Hug, and S. Kar. A fully distributed cooperative charging approach for plug-in electric vehicles[J], IEEE Trans. SmartGrid, 2018, 9(4): 3507–3518.
- [8] Y. Xu, F. Pan, and L. Tong. Dynamic scheduling for charging electric vehicles: A priority rule[J], IEEE Trans. Autom. Control, 2016, 61(12): 4094–4099.
- [9] Ghosh and V. Aggarwal. Control of charging of electric vehicles through menu-based pricing[J], IEEE Trans. Smart Grid, 2018 9(6): 5918–5929.
- [10] Y. Yang, Q.-S. Jia, G. Deconinck, et al. Distributed coordination of EV charging with renewable energy in a microgrid of buildings[J], IEEE Trans. Smart Grid, 2018, 9(6): 6253–6264.
- [11] C. Yang, S. You, W. Wang, L. Li, et al. A stochastic predictive energy management strategy for plug-in hybrid electric vehicles based on fast rolling optimization[J], IEEE Trans. Ind. Electron.,2020, 67( 11): 9659–9670.
- [12] J. Su, T. T. Lie, and R. Zamora. A rolling horizon scheduling of aggregated electric vehicles charging under the electricity exchange market[J], Appl. Energy, 2020, 275: 1–12.
- [13] W. Zhong, K. Xie, Y. Liu, et al. Topology-aware vehicle-to-grid energy trading for active distribution systems[J], IEEE Trans. Smart Grid, 2019, 10(2): 2137–2147.
- [14] Zhuang Q, Liu Y, Chen L, et al. Proof of reputation: A reputation-based consensus protocol for blockchain based systems[C]. Proceedings of the 2019 international electronics communication conference. ACM; 2019.
- [15] Wang EK, Liang Z, Chen C-M, et al. A reputation incentive scheme for blockchain consensus of IIoT[J]. Future Gener Comput Syst, 2020;102: 140–151.
- [16] Huang J, Kong L, Chen G, et al. Towards secure industrial IoT: Blockchain system with credit-based consensus mechanism[J]. IEEE Trans Ind Inf, 2019, 15(6):3680–3689.
- [17] Biryukov A, Feher D. ReCon: Sybil-resistant consensus from reputation[J]. Pervasive Mob Comput, 2020;61.
- [18] Cai W, Jiang W, Xie K, et al. Dynamic reputation-based consensus mechanism: Real-time transactions for energy blockchain[J]. Int J Distrib Sens Netw, 2020;16(3).

- [19] Tang B, Kang H, Fan J, et al. IoT passport: A blockchain-based trust framework for collaborative Internet-of-Things[C]. Proceedings of the 24th ACM symposium on access control models and technologies. ACM, 2019.
- [20] Shala B, Trick U, Lehmann A, et al. Novel trust consensus protocol and blockchain-based trust evaluation system for M2M application services[J]. Internet of Things, 2019,7.
- [21] Bellini E, Iraqi Y, Damiani E. Blockchain-based distributed trust and reputation management systems: A survey[J]. IEEE Access, 2020, 8(21):127–151.
- [22] Khaqqi KN, Sikorski JJ, Hadinoto K, et al. Incorporating seller/buyer reputation-based system in blockchain-enabled emission trading application[J]. Appl Energy, 2018,209:8–19.
- [23] Liu L, Li B, Qi B, et al. Reliable interoperation of demand response entities considering reputation based on blockchain[J]. IEEJ Trans Electr Electron Eng, 2019;15(1):108–120.

## 致谢

匆匆四年已过，如同流水东去，我仍历历在目地记得当初踏足武汉时那股热浪的扑面而来，怀着少年的懵懂和向往，怎料四年后我也要在这热烈的盛夏离别这座城。人生如此，我们总是注重眼前的感受，直到回首往事，方知青春的美好与可贵。曾年少的我，总以为风华正茂，一马当先，如今却发觉人生无非是一场必然的离散宴席。

在这四载的时光中，我遇到了众多可贵的师友，当时以为理所当然，如今才明白那是时光的恩赐。衷心感谢这四年来的任课教师，感谢导员无私地辛勤管理着我们。

而胡卓老师是我最想表达感激之情的人，他在我完成论文的半年里，没有陷入形式主义的开会，却总是在我需要帮助时及时伸出援手。还有我最想感谢的王英秀学姐，她以耐心和智慧，引导我走过低谷，不厌其烦地为我答疑解惑。

我深深感激我的父母，从小对我的学业要求严格，他们的悉心教诲让我不断进取。同时，我也要感谢我老家的朋友，他们在我刚来武汉时，在午夜给予我思乡之情的抚慰。

感激大学时结识的朋友和室友，是他们的包容和友爱，让我度过这四年舒适而温暖的时光。

我还要感谢那些我倾听过的音乐，那些我浅尝辄止的心理学和哲学，它们给予了我精神上的支持，使我从这个世界的平庸中汲取智慧的营养。

最后，我要感谢所有在我成长路上所遇到的人和事情，你们如春风拂面，让我在找寻自我的路上迈出坚定的步伐。在此，我引用江泽民主席的诗句作为本文的结尾，希望你我互勉。“历尽天华成此景，人间万事出艰辛”