

# 基于区块链共识机制的能源互联网交易

周国亮<sup>1</sup>, 吕凛杰<sup>1</sup>, 李刚<sup>2</sup>

(1. 国网冀北电力有限公司技能培训中心, 河北 保定 071051;

2. 华北电力大学控制与计算机工程学院, 河北 保定 071003)

**摘要:** 区块链是一种全新的分布式基础架构与计算模式, 具有广阔的应用前景。未来能源互联网海量交易面临严重的信任危机, 而区块链利用共识算法实现的多方信任机制有助于解决信用危机。基于拜占庭容错共识算法设计了能源互联网海量交易方案, 通过智能合约将生产数据和消费数据发送给区块链预选节点进行共识, 由预选节点确认后写入区块链; 预选节点根据记录在区块链中的供需信息, 实现能源最优化交易; 交易的结果记入区块链, 并由调度系统执行, 完成能源点对点直接交易, 提高能源利用效率。

**关键词:** 区块链; 能源互联网; 智能合约; 共识算法; 拜占庭容错

## 1 引言

能源互联网将实现广域范围内能源的双向按需传输和实时动态平衡, 最大限度地提高清洁能源的接入比例, 是未来能源发展的主流趋势<sup>[1]</sup>, 其核心是提倡公平、对等、可信的能源自由接入和交易。未来的能源互联网将由亿万交互的终端组成, 包括微电网、光伏系统、智能设备、分布式计算以及能源管理软件等。面对复杂的运行环境, 区块链技术能够实时、自动地验证和确保不同节点之间的海量交易, 有望成为能源互联网的技术基础, 是能源互联网实施过程中的备选信息基础架构方案之一。

区块链的核心功能是在保证安全性和透明性的前提下实现价值转移, 利用区块链智能合约在能源互联网海量主体之间建立可信、自主、自动的能源调度交易, 完成需求和消费双方的自动匹配, 实现自组织、自调节的能源系统, 极大地提高能源效率、降低管理成本, 实现能源互联网的高效运行<sup>[2]</sup>。

电力交易是指针对电力商品和服务进行的买卖活动, 包括电能交易、辅助服务交易、输电权交易等。交易本质上也是一种共识机制, 即在发电、用电及设备能力之间达成共识(平衡)。然而在区块链支撑下的能源互联网, 供需之间通过点对点完成直接交易, 区块链共识机制对其进行审核、验证, 对满足电力系统

网架安全特性的交易提供许可, 反之取消(不能达成共识)。基于区块链的能源互联网交易比传统自上而下的能源配电系统更有效率, 可以节省整体开支, 同时展示分布式账本的力量。

## 2 区块链应用及共识算法介绍

### 2.1 区块链的应用

区块链技术是利用块链式数据结构来验证与存储数据、利用分布式节点共识算法来生成和更新数据、利用密码学的方式保证数据传输和访问的安全、利用由自动化脚本代码组成的智能合约来编程和操作数据的一种全新的分布式基础架构与计算范式<sup>[3]</sup>。区块链技术被认为是继大型机、个人电脑、互联网、移动/社交网络之后计算范式的第五次颠覆式创新, 是人类信用进化史上继血缘信用、贵金属信用、央行纸币信用之后的第四个里程碑。

在物联网时代, 海量设备借助中心节点来维持信任和交互, 存在成本高、效率低等问题, 核心数据存储中心化节点, 存在信息安全隐患。IBM 公司公布的 ADEPT 项目是利用区块链打造去中心化的物联网, 在 ADEPT 系统中, 当数十亿个设备自动交互信息时, 区块链将发挥分类账簿的作用, 利用区块链技术在海量的智能设备之间建立了低成本的相互直接沟通的渠道, 同时又通过去中心化的共识机制提高了物联网的

基金项目: 国网冀北电力有限公司科技基金资助项目 (No.520184170002)

安全性和私密性,通过可靠的数学加密算法保护用户的隐私。最终实现设备的自我管理和维护,将物联网转变为一个去中心化、自组织、自调节的系统,实现无需中介信任的点对点价值传输、安全的分布式数据分享,构造了一个使用区块链技术的物联网分布式平台。

美国纽约的 TransActive Grid 项目是微电网商 LO3 公司和区块链技术商 ConsenSys 公司共同研发的。该项目通过区块链网络连接太阳能发电家庭和购电家庭,不需要人员参与就可以管理、记录交易。通过去中心化的方式实现点对点交易,居民可将自家太阳能板产生的过剩电力出售给对面街道的家庭,交易以区块链网络连接。这种方式代表了未来社区管理能源系统的发展趋势。家庭能源生产者可以把多余的电力卖给邻居,社区可以保存当地的能源资源,减少能源浪费,提高微观电力和宏观电力的利用率。

德国莱茵集团(RWE)通过区块链技术降低能源传输的费用,帮助企业削减成本,探讨了利用区块链智能合约对用户进行认证和管理开票的程序。针对传统电力系统中心化机构存在的问题,参考文献[4]提出弱中心化管理电力交易的方法,即利用区块链技术以智能合约的形式存储电力交易信息,并自动执行资金转移,记录智能电表采集的电能数据,中心机构仅对达成的交易进行安全校核和阻塞管理。其他文献介绍了区块链在军事<sup>[5]</sup>、电力领域<sup>[6]</sup>、大用户直供电<sup>[7]</sup>、虚拟电厂交易<sup>[8]</sup>等的应用与展望。

## 2.2 区块链共识机制

共识机制是指在没有中心组织的情况下如何对某个交易的有效性达成一致。区块链上的共识机制有多种,包括工作量证明(proof of work, PoW)、权益证明(proof of stake, PoS)、Pool 验证池、实用拜占庭容错(practical Byzantine fault tolerance, PBFT)等,不同的共识机制具有不同的特点,适用于不同的工作场景。目前常用的区块链共识机制包括如下几种。

工作量证明机制是目前比特币采用的共识机制。其含义是工作量越大,收益越高。比特币在 Block 的生成过程中使用了 PoW 机制,一个符合要求的 Block Hash 由  $N$  个前导零构成,零的个数取决于网络的难度值。PoW 需要浪费大量的计算算力,因而以太坊采用了 PoS 机制。PoS 类似股权凭证和投票系统,因此也叫“股权证明算法”,由持有最多(token)的人来公示最终信息。

Pool 验证池基于传统的分布式一致性算法,整合数据验证机制,是目前联合链大范围在使用的共识机制。其不需要代币也可以工作,基于成熟分布式一致性算法,可实现秒级共识验证。但去中心化程度不如比特币,更适合多方参与的多中心商业模式。

实用拜占庭容错算法也是一种常见的共识证明,常用于联合链。PBFT 是一种基于严格数学证明的算法,需要经过 3 个阶段的信息交互和局部共识来达成最终的一致输出。PBFT 是一种状态机副本复制算法,即服务作为状态机进行建模,状态机在分布式系统的不同节点进行副本复制。它与之前两种都不相同, PBFT 以计算为基础,也没有代币奖励。由链上所有人参与投票,少于  $(N-1)/3$  个节点反对时,就获得公示信息的权利。

PBFT 属于状态机拜占庭协议,将算法复杂度由指数级降低到多项式级,是 IBM Hyperledger Fabric 实现和推荐的共识算法,采取一个节点一票的方案确定记账结果,也是适用于能源互联网交易共识的有效算法。

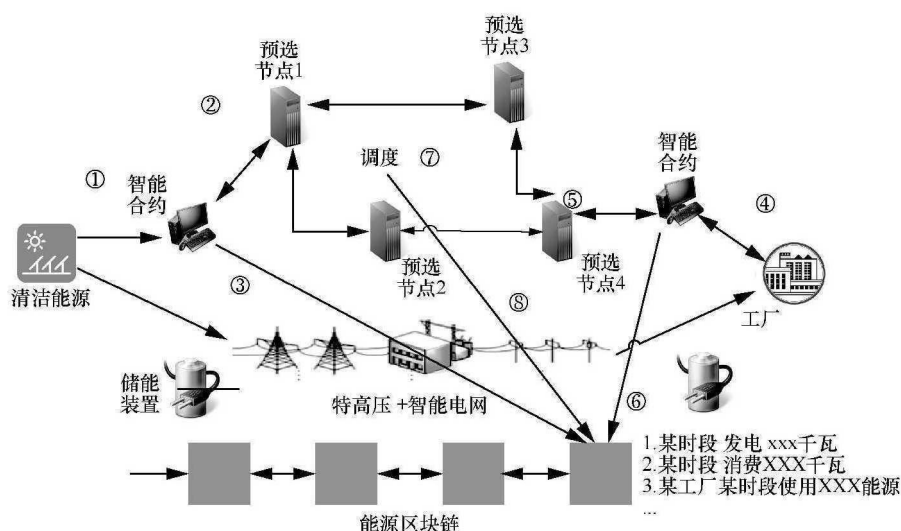
## 3 基于共识机制的交易方案

### 3.1 能源互联网采用联合链

当前,区块链主要分为 3 类:公有链、联合(行业)链、私有链。其中联合链和私有链是广义的私链,而比特币是公有链。其中联合链由某个群体或行业内指定多个预选的节点为记账人,每个区块的生成由所有预选节点共同决定(预选节点参与共识过程),其他接入节点可以参与交易,但不能记账,其他任何人可以通过该区块链开放 API(application programming interface,应用程序编程接口)进行限定查询。预选节点权限完全对等,在不需要完全互信的情况下可以实现数据的可信交换。联合链中每个节点可以有较为复杂的读写权限,部分权限的节点会向所有人开放,而部分记账或者核心权限的节点只能向许可的节点开放,这样可以部分解决能源互联网效率和安全问题。R3 银行区块链联合就采用了联合链模式。针对将来能源互联网的交易特性,普通的公有链共识算法在效率及安全性方面很难满足其要求,采用联合链可有效避免公有链的多种问题。

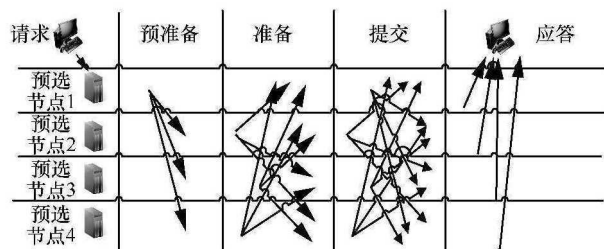
### 3.2 执行过程

基于区块链的特征,设计了基于 PBFT 能源交易共识过程,如图 1 所示。

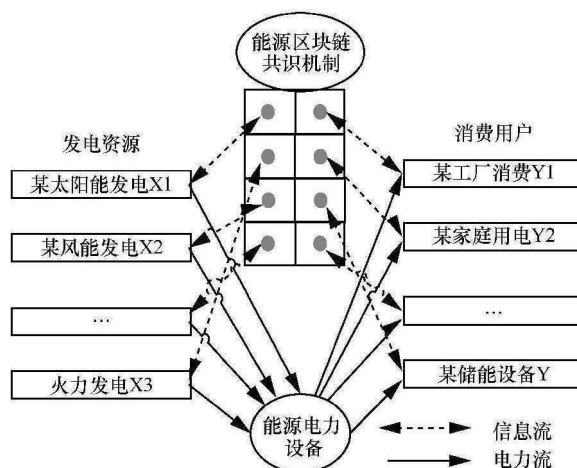


如图 1 所示, 基于共识机制的分布式能源交易方法具体包括以下步骤:

- 各种清洁能源（如太阳能和风能）的发电信息，可利用存储在区块链中的大数据预测在下一个时段的发电量；
- 通过内置智能合约技术的设备向区块链网络预选节点发送请求确认，预选节点间利用拜占庭容错共识算法进行共识，并将确认结果返回智能设备，具体共识过程如图 2 所示；



满足电力或能源约束的条件下,考虑距离、时效及能源损耗的基础上,开展能源最优交易配置,交易基于分布式共识算法,交易过程示意图如图3所示:



- 利用智能合约将达成共识后的清洁能源发电信息写入区块链，形式为“某设备某时段的发电信息”；
- 各个用电客户（如工厂等）将自己某个时段的用电需求信息发送给智能合约设备；
- 内置智能合约的设备向区块链预选节点发送此客户的需求信息，由所有预选节点共识确认；
- 确认后的信息由智能合约写入区块链，形式为“某客户某时段需要消费信息”；
- 预选节点根据记录在区块链中的供需信息，在

- 交易的结果记入区块链，并驱动电力系统自动执行，在能源过剩时，采用储能设备存储过剩能源；考虑储能周期、成本的基础上，合理调度储能资源，避免资源浪费。

如图 3 所示, 能源区块链基础上的分布式交易示意图利用收集到的精准供需信息, 在供需之间建立最佳匹配, 实现能源的点对点交易; 在交易基础上, 能源电力设备完成传输和转换。

在对能源区块链操作的过程中，所有的写入操作需要由满足拜占庭容错机制的共识算法完成，其共识

过程如图 2 所示,整个共识过程由所有预选节点参与,参照拜占庭容错算法实现,整个过程分为 5 个阶段。

- 请求:某内置智能合约的智能设备向预选节点 1 发送数据写入请求。
- 预准备:预选节点 1 将要写入的数据发送给其他所有预选节点,如图中的预选节点 2~节点 4,同时对数据进行分析。
- 准备:预选节点 2~节点 4 分别分析自己收到的数据,将分析结果(即是否确认)写入的数据发送给其他节点,比如预选节点 2 将自己的确认信息发送给节点 1、节点 3、节点 4。
- 提交:预选节点根据自己接收到的确认信息及数据分析结果,确定是否要提交确认信息到智能设备,如果不确认则不发送。
- 应答:智能设备根据收到的应答信息,根据预先设定的规则,比如 51%的预选节点确认,即达成共识,则数据写入区块链,否则数据不能写入区块链,共识失败。

#### 4 结束语

区块链以其去中心化、开放性、自治性、信息

很难篡改等特性,成为数字化浪潮下一个阶段的核心技术,并成为构建价值互联网的基础。通过在能源互联网中引入区块链技术,实现安全、可信、对等的点对点能源交易,构建信息安全的自组织、自调节能源互联网,能有效降低成本,促进能源互联网落地。

#### 参考文献:

- [1] 董朝阳,赵俊华,文福拴,等.从智能电网到能源互联网:基本概念与研究框架[J].电力系统自动化,2014,38(15):1-11.
- [2] SWAN M. Blockchain: blueprint for a new economy[M]. O'Reilly Media, Inc, 2015: 1-10.
- [3] 袁勇,王飞跃.区块链技术发展现状与展望[J].自动化学报,2016,42(4):481-494.
- [4] 邵雪,孙宏斌,郭庆来.能源互联网中基于区块链的电力交易和阻塞管理方法[J].电网技术,2016,40(12):3630-3638.
- [5] 廉蒨,朱启超,赵焱.区块链技术及其潜在的军事价值[J].国防科技,2016,37(2):30-34.
- [6] 颜拥,赵俊华,文福拴,等.能源系统中的区块链:概念、应用与展望[J].电力建设,2017,38(2):12-20.
- [7] 欧阳旭,朱向前,叶伦,等.区块链技术在大用户直购电中的应用初探[J].中国电机工程学报,2017,37(13):3737-3745.
- [8] 余维,胡跃,杨晓宇,等.基于能源区块链网络的虚拟电厂运行与调度模型[J].中国电机工程学报,2017,37(13):3729-3736.