

# B-WSM: 一种基于区块链的去中心化Web服务治理模型

## ——基于区块链的去中心化 Web 服务治理模型

刘国奇<sup>1</sup>, 王建涛<sup>1</sup>, 牛思琦<sup>2\*</sup>, 马 健<sup>3</sup>

<sup>1</sup>沈阳建筑大学计算机科学与工程学院, 辽宁 沈阳

<sup>2</sup>沈阳建筑大学设计艺术学院, 辽宁 沈阳

<sup>3</sup>沈阳建筑大学工程培训与创新学院, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2023年2月18日; 录用日期: 2023年3月20日; 发布日期: 2023年3月29日

### 摘 要

随着web服务和SOA模型在软件系统中的迅速发展和广泛应用, 需要对web服务结构进行整合从而达到更加有效治理的目的, 但是目前的服务治理方案存在着信任、服务信息共享性差以及服务治理结构整合性差等问题。本文利用区块链的去中心化以及分布式账本技术特性, 把区块链的相关理论与web服务和SOA相结合, 提出了一个基于区块链理论的无信任web服务治理结构模型B-WSM。该模型是区块链技术与web服务结合形成一种新的具有无信任、服务数据共享性好以及服务治理整合性好等特点的结构模型, 为区块链与web服务结合的研究提供了一种新思路。最后, 根据模型开发了一个原型系统作为开源项目, 验证了模型的可行性。

### 关键词

Web服务, 去中心化, 分布式账本, 服务治理, 模型, 区块链

# B-WSM: A Blockchain-Based Decentralized Web Services Governance Model

## —A Blockchain-Based Decentralized Web Services Governance Model

Guoqi Liu<sup>1</sup>, Jiantao Wang<sup>1</sup>, Siqi Niu<sup>2\*</sup>, Jian Ma<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Computer Science and Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang Liaoning

<sup>2</sup>School of Design Art, Shenyang Jianzhu University, Shenyang Liaoning

<sup>3</sup>College of Engineering Training and Innovation, Shenyang Jianzhu University, Shenyang Liaoning

\*通讯作者。

文章引用: 刘国奇, 王建涛, 牛思琦, 马健. B-WSM: 一种基于区块链的去中心化 Web 服务治理模型[J]. 计算机科学与应用, 2023, 13(3): 480-491. DOI: 10.12677/csa.2023.133047

Received: Feb. 18<sup>th</sup>, 2023; accepted: Mar. 20<sup>th</sup>, 2023; published: Mar. 29<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

With the rapid development and wide application of web service and SOA model in software system, it is necessary to integrate the structure of web service so as to achieve the purpose of more effective governance, but there are some problems in the current service governance scheme, such as trust, service information sharing and service governance structure integration. Based on the decentralization of Blockchain and the characteristics of distributed ledger technology, this paper combines the relevant theories of Blockchain with web services and SOA, and proposes a non-trust web service governance structure model B-WSM based on Blockchain theory. This model is the combination of Blockchain technology and web services to form a new structural model with the characteristics of no trust, good service data sharing and good service governance integration, which provides a new idea for the research of the combination of Blockchain and web services. Finally, a prototype system is developed according to the model as an open source project to verify the feasibility of the model.

## Keywords

Web Service, Decentralization, Distributed Ledger, Service Governance, Model, Blockchain

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着计算机技术的迅速发展和 web 服务的广泛运用, web 服务结构的治理是当前计算机系统和应用的热点问题。它的主要任务是对 web 服务的注册、服务退出、服务检索以及服务注册点中心化等问题进行有效治理。目前主要的有两种治理方案,分别是集中式服务治理和分布式服务治理。集中式和分布式的主要问题是服务注册中心是中心化,服务数据共享性差,web 服务结构整合性差。区块链技术具有去中心化,数据共享等特性[1]。它也逐渐被应用在多个领域去解决信任,数据共享的问题。它的出现为我们首次提供一种区块链相关技术与 web 服务治理结合新的 B-WSM 结构模型的思路,同时也对去中心化应用程序和服务(DApps 即 Decentralized Applications)的进一步研究具有一定的理论和实践意义。下文从一些研究者当前在集中式和分布式的服务治理领域的探索、区块链在去中心化领域的应用以及区块链与服务结合理论的提出进行介绍。

传统的用于 web 服务的公共 UDDI [2]注册中心项目是由 IBM、微软和 Ariba 在 2000 年提出的,但是这个项目并不是设计者们所希望的,即使有数百家公司加入了这个项目,设计者们在 6 年后关闭了这个项目。除了公共 UDDI 之外,研究人员分别在集中式服务注册中心和分布式服务注册中心探索了几种服务治理模型。在集中服务注册中心领域,有研究人员关注如何对服务进行分类[3] [4] [5]、发现[6] [7] [8] [9],有研究人员关注 web 服务推荐算法选择[10] [11] [12]和服务编排[13]。我们还结合服务检索模型[14] [15]、web 服务安全治理方法[16] [17] [18]对相关文献进行了分类和探索,也发现有研究者用算法改进 web 服务聚类[19] [20] [21]。

在分布式服务注册中心领域,有研究人员分析了分布式模型中的数据分区[22]、web 服务的分布式数据库缓存[23]、web 服务推荐[24]和 web 服务组合[25]。

集中式服务注册中心模型或分布式服务注册中心模型的问题在于,服务提供者必须将其服务注册到由一些公司或组织控制的 UDDI,而这些公司或组织的可信度已经影响了 web 服务的发展。但是像政府和一些大公司这样的组织也做出了改变,因为有时他们不愿意他们的服务器被少数公司或组织控制。随着区块链技术的出现,传统的 web 服务治理面临着一些新的挑战。比特币[26]中的区块链只是区块链的一种形式,区块链是比特币如何运作的核心。比特币的系统的成功验证了基于区块链理论设计去中心化 web 服务治理系统是可能的。区块链技术和分布式账本正在引起广泛关注,并引发不同行业的多个项目。区块链技术有望克服这些关键方面,代表着“从信任人到信任数学的转变”,因为不再需要人为干预。BaaS 在云计算中或边缘计算环境中提供区块链服务,如灵活性市场[27]、系统监控[28]、智能合约分析[29] [30]、安全保险[31]、电子投票[32]、电子商务[33]以及物联网[34] [35]。

区块链是一种创新的分布式账本技术,它吸引了研究者广泛的兴趣,用于构建下一代应用程序,以解决服务中缺乏信任的问题[36]。在 web 服务领域,近年来围绕区块链发表了各种论文,如 Jie 调查了学术界和工业界对区块链即服务(BaaS)的研究成果,在他的论文中总结了 BaaS 的六个挑战,作为进一步的研究方向[37]。Lu 提出了统一的区块链作为服务平台(uBaaS),以支持基于区块链的应用程序的设计和部署[36]。Liu 试图重新思考一种新的数据治理方式,它建立在基于区块链的去中心化服务计算范式之上[38]。

区块链技术具有去中心化,数据共享等特性。区块链的去中心化主要体现在全节点是对等的,无信任的。它的数据共享体现在全节点之间点对点通信具有共识性,从而保持全节点之间记录着同样的数据。

本文基于区块链理论和相关技术,首次提出并设计了一种名为 B-WSM 的新型的 Web 服务治理模型。在 B-WSM 模型中根据区块链全节点中的结构特征本文首次提出一个 B-node 定义,用它作为 SOA 模型结构中的服务注册中心。B-node 具有区块链全节点的无信任和数据共享的相关特性。B-node 之间进行点对点通信,通信的隐私数据采用 SHA256 进行哈希加密。区块链系统的部署和使用比较复杂以及磁盘空间的占用达到数百 GB,复杂的部署和空间占用较大不利于只需求使用 web 服务的用户和人群。而本文设计的模型属于针对 web 服务领域的人群,从而具有针对性和高效性。与比特币的区块链类似,在该模型中,每台计算机注册后都可以是一个名为 B-node 的节点,每个 B-node 存储所有的节点结构信息和一个服务列表,其中包含注册到 B-WSM 的所有服务信息。服务提供者可以将服务注册到任何 B-node,一旦成功注册到 B-node 的服务或 web 服务被调用,加密的哈希消息将发送到模型中的其它 B-node。模型中的所有 B-node 都存储相同的信息,它们一起实现服务治理。总之,该模型可以在不需要可信中介的情况下实现服务治理。

本研究的整体结构分为五章,其中包括本章引言。第二章介绍了 B-WSM 的结构、关键技术、设计细节、模型工作机制以及模型功能。第三章介绍了基于 B-WSM 模型设计的原型系统。最后,结论部分对研究结果进行了简要的总结和展望。

## 2. B-WSM 模型

### 2.1. 模型的整体架构

如图 1 所示,本文提出 B-WSM 模型是首次 SOA 模型结构体系和区块链中的相关技术(分布式账本技术、节点结构和点对点网络通信结构,点对点即 P2P)融合而成。模型中用的关键技术有 SOA 模型结构、区块链的分布式账本、全节点结构、P2P 网络通信、SHA256 哈希加密算法等技术。

SOA 模型结构中体现的是服务注册中心、服务提供者以服务请求者三者间的关系,服务提供者到服

务注册中心发布 web 服务，服务请求者到注册中心查找需要的服务，从而与发布该服务的提供者形成绑定关系。SOA 的服务注册中心由 B-WSM 模型中可以自由加入的 B-node 节点形成的环状网络结构组成。

区块链全节点中包含数据层、共识层以及网络层。其中数据层是节点存储数据的，网络层是节点间同来进行 P2P 通信的，通信传递的信息数据采取 SHA256 加密算法，保证数据的安全性。共识层是通过节点间进行 P2P 通信而保持数据的一致性。这三层结构构成一个全节点通信，存储数据以及保持数据一致性的基本功能特点。区块链的分布式账本技术体现在每当有新的交易记录时，区块链的全节点都会记录下来，这样每个全节点都保存有同样的账本记录。本文提出的 B-node 结构是由类似于全节点中的数据层、网络层以及共识层组成，B-node 之间采用 P2P 通信，通信的隐私数据采用 SHA256 加密，而本文提出的 B-WSM 模型的分布式账本技术体现在每当有新的 web 服务加入时，每个 B-node 都会记录该服务的信息数据。

B-WSM 模型由若干个 B-node 和三个角色组成，包括服务请求者、服务提供者 and 类似 SOA 模型的模型。B-WSM 模型的一个典型例子如图 1 所示，模型中的所有 B-node 都以环形结构连接，每个 B-node 都与其他 B-node 相似。服务请求者可以将其服务注册到任何 B-node，服务提供者可以通过任何 B-node 获取模型中的所有服务列表。此外，用户创建后可以申请成为 B-node，并向该模型提交请求。

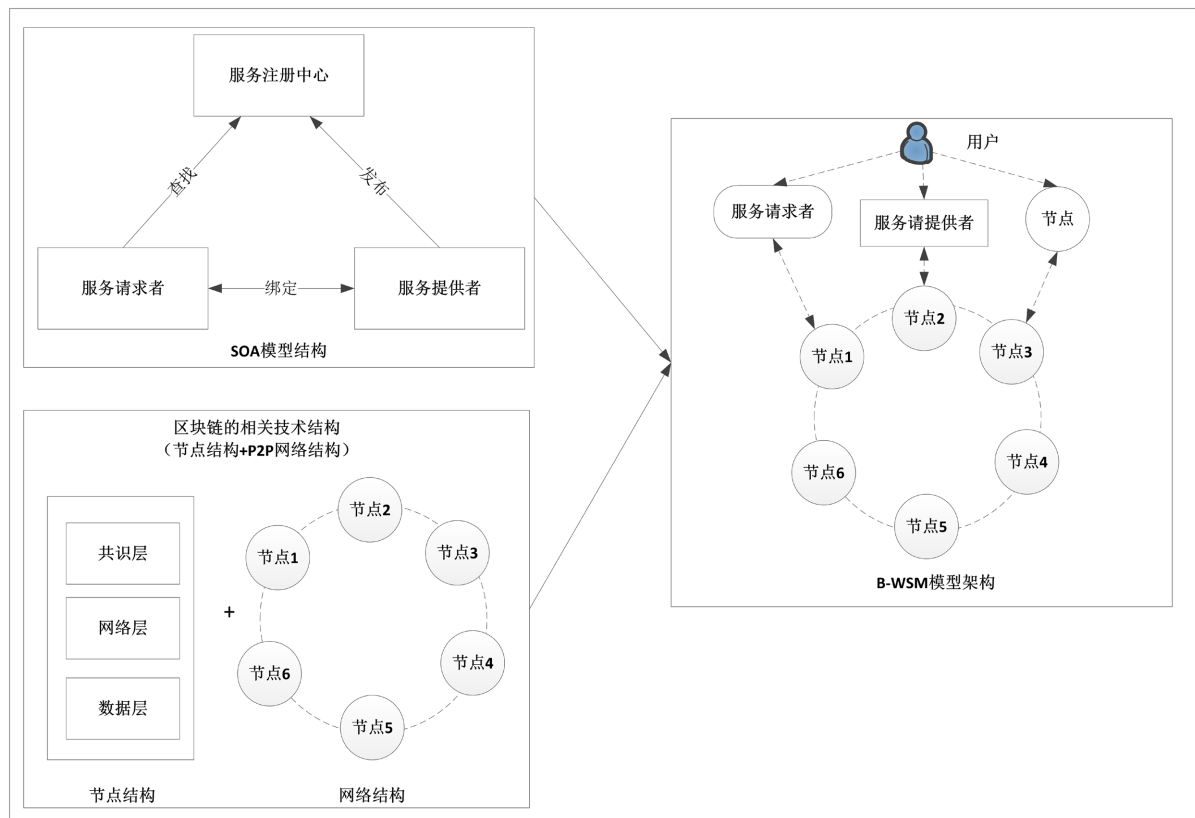


Figure 1. The model forms the schematic diagram of the structure  
图 1. 模型形成结构原理图

本文提出的是针对于 web 服务治理问题的模型，下文要从发布或者删除 web 服务的节点(即 B-node)的功能，服务请提供者和请求者的功能作用、以及模型的工作机制、B-node 的加入和退出、服务的发布与删除以及请求者根据需求获取 web 服务等方面对模型功能进行进一步介绍。模型的这些主要功能体现

了模型的去中心化以及 B-node 间的数据共享。每个 B-node 都是对等的，都存有一样的 web 服务数据结构，它们之间也是无信任的，这些体现了模型的去中心化。服务提供者到其中任意一个 B-node 发布服务信息，服务信息通过通信传递给其它 B-node 体现了模型的数据共享性。

## 2.2. B-Node 的功能

除了创始节点外，每个 B-node 都具有相同的结构和存储类似的信息，创始节点是指模型中的第一个节点。表 1、表 2 以及表 3 显示了每个 B-node 存储的基本信息，其中表 1 显示了模型中的 B-node 的数据信息，表 2 显示了服务提供者账号信息，表 3 显示了模型中的发布的 Web 服务数据信息。

**Table 1.** Node information table (NodeInfo)

**表 1.** 节点信息表(NodeInfo)

字段	描述
nodename	节点名
flag	在线/离线
port	开启 websocket 连接的端口号
ip	节点的 ip 地址

**Table 2.** Service provider account information table (ServiceUserInfos)

**表 2.** 服务提供者账户信息表(ServiceUserInfos)

字段	描述
account	服务提供者注册的账户
password	服务提供者账户的密码(采用 SHA256 加密)

**Table 3.** Web service information table (WebServiceInfo)

**表 3.** Web 服务信息表(WebServiceInfo)

字段	描述
belongtoNodeip	服务所属节点的 ip 地址
belongtoServiceaccount	服务所属服务提供者的账户
inputandoutputdesc	服务的输入输出描述
methodname	服务的方法名
serviceCode	服务的验证码，加入或者退出服务的时候凭证，用 SHA256 加密
serviceName	服务名
serviceaddress	访问服务所在的地址
serviceexplain	服务方法的描述
servicetype	服务类型

- 全面了解 B-node 的功能，其主要特点包括：
  - 1) 允许用户作为 B-node 加入模型或退出模型。
  - 2) 服务提供商可以通过 B-node 发布或删除服务。
  - 3) 对于注册到 B-node 的业务，B-node 可作为性能测试和监控工具。
  - 4) 允许服务请求者通过模型中的任意 B-node 搜索和调用 web 服务。
  - 5) B-node 之间以 P2P 方式在链上交互。



### 2.3. 服务提供者和服务请求者的角色

在 B-WSM 模型中, 服务提供者可以申请成为 B-node, 然后其他服务提供者可以向该 B-node 注册服务。服务提供者可以将 web 服务发布到模型中的任何 B-node。另外, 服务提供者可以通过 B-node 搜索所有 web 服务。服务请求者可以通过任何 B-node 搜索所有 web 服务。

### 2.4. B-WSM 模型工作机制

如前所述, 有三种角色, 包括模型中的服务提供者、服务请求者和 B-WSM 模型。该模型的主要功能包括用户作为 B-node 申请加入或退出模型, 服务提供者从 B-node 发布或删除 web 服务, 服务请求者通过 B-node 搜索和调用 web 服务。接下来, 我们将介绍模型的主要功能。

### 2.5. 作为 B-node 加入

假设一些公司或组织希望作为 B-node 加入模型, 他们需要下载程序并运行它。然后, 他们可以找到一个显示现有 B-node 的 B-node 列表, 他们可以选择一个 B-node 并提交请求。甚至我们也支持个人的请求, 但在一开始, 我们希望新的 B-node 能够长时间在线, 所以我们希望更多的公司或组织加入这个模式。当有新的 B-node 加入模型时, 会向模型中的其他 B-node 发送消息。

假设一个名为用户 A 的组织公司申请加入 B-WSM 模型作为 B-node。首先, 用户 A 需要下载程序并运行, 然后用户 A 可以开始申请成为 B-node。该过程如图 2 所示。

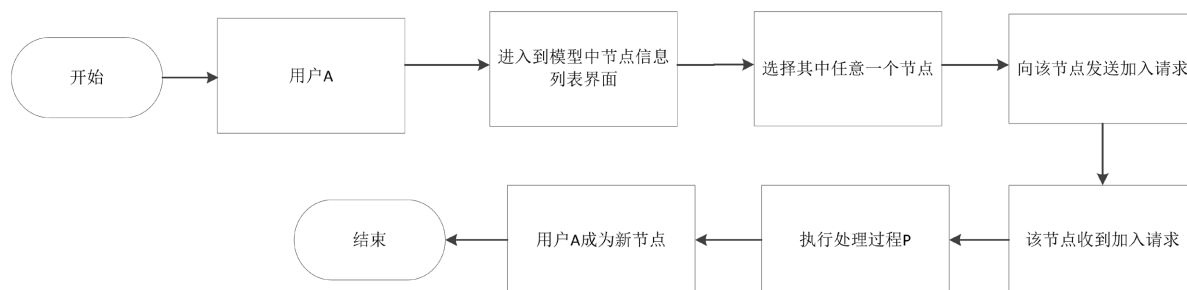


Figure 2. The process of User A applies to join the B-WSM model

图 2. 用户 A 申请加入 B-WSM 模型流程图

如图 2 所示, 用户 A 将获得 B-node 列表, 并选择其中任何一个发送加入请求。B-node 收到加入请求后, 将执行命名为 P 的进程。每个进程 P 由以下 3 个步骤组成:

- 1) 用户 A 选择的 B-node 将新节点信息添加到本地数据库, 该 B-node 将成为用户 A 的父节点。
- 2) 向用户 A 返回成功消息, 并返回 B-node 存储的内容。
- 3) B-node 向模型中的其他 B-node 发送消息。

### 2.6. B-Node 从模型中退出

假设一家名为用户 B 的公司申请退出 B-WSM 模型, 流程如图 3 所示。

如图 3 所示, 用户 B 可以选择模型中的任意 B-node 应用退出模型。选中的 B-node 收到退出请求后, 将执行进程 Q。流程 Q 由以下 3 个步骤组成:

- 1) 选中的 B-node 首先从本地数据库中删除节点信息。
- 2) 用户 B 上注册的 web 服务将从本地数据库中删除。
- 3) 选中的 B-node 将消息发送给模型中的所有 B-node, 其他 B-node 将执行相同的过程。

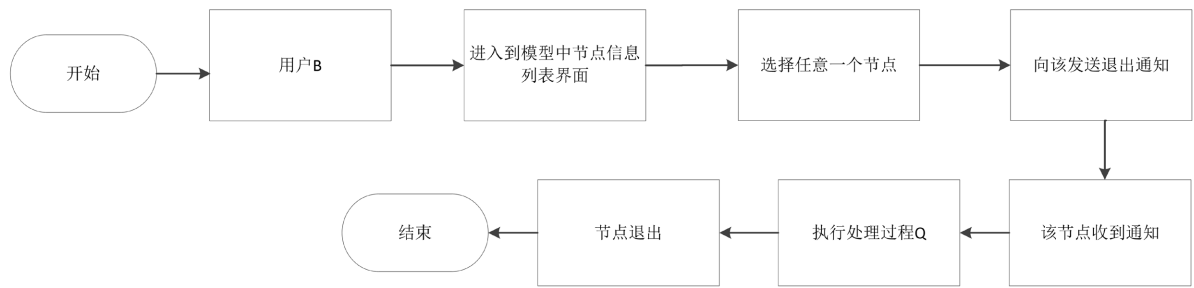


Figure 3. The process of B-node quit from the B-WSM model  
图 3. 用户 B 退出 B-WSM 模型流程图

### 2.7. 发布或删除 Web 服务

我们假设用户 C 希望在模型中发布 web 服务。该过程如图 4 所示。

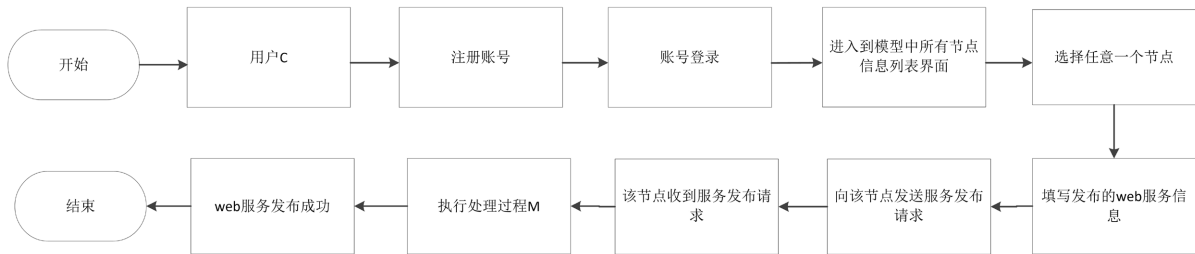


Figure 4. The process of publish a web service  
图 4. 发布 web 服务流程图

如图 4 所示，用户 C 需要先注册到模型中，然后用户 C 可以选择 B-WSM 模型中的任意 B-node 并开始发布 web 服务。该过程包括填写服务信息，发送发布请求。B-node 接收到发布请求，一个名为 M 的进程将启动。过程 M 包括以下 2 个步骤：

- 1) B-node 将 web 服务信息存储到本地数据库中，并返回成功消息给用户 C。
  - 2) B-node 将服务信息发送给其他 B-node，模型中的所有 B-node 都会收到该消息并更新服务列表。
- 如果服务提供者希望删除已发布在 B-WSM 模型中的 web 服务，则流程如图 5 所示。

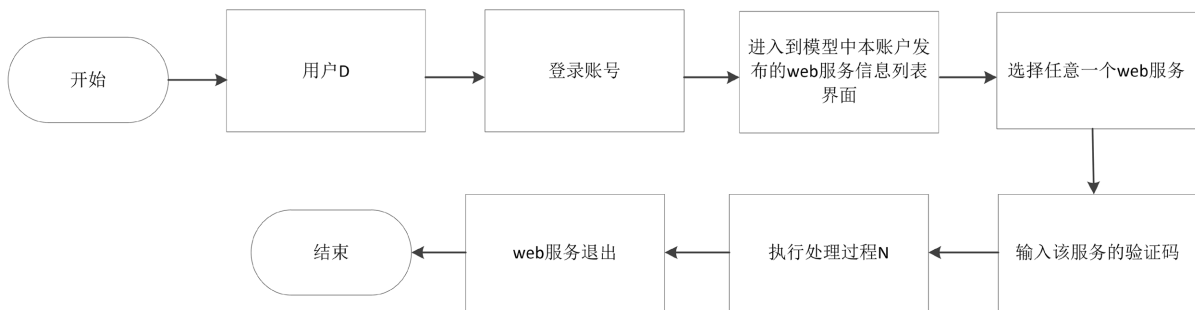


Figure 5. The process of service provider deletes a web service  
图 5. 服务提供者删除 web 服务流程图

如图 5 所示，用户 D 首先选择一个 B-node 启动流程，然后通过所选 B-node 登录模型，选择需要删除的服务，输入验证码启动删除流程，验证码为服务注册时模型创建的哈希值。如果该信息有效，则将

启动名为 N 的进程。该过程由 2 个步骤组成：

- 1) B-node 从本地数据库中删除服务信息。
- 2) B-node 向模型中的其他 B-node 发送消息，收到消息的 B-node 将删除被删除服务的消息。

## 2.8. 服务请求者调用 web 服务

当服务请求者需要搜索或调用服务时，流程如图 6 所示。



Figure 6. The process of service requester calls a service

图 6. 服务请求者调用 web 服务流程图

如图 6 所示，服务请求者可以搜索由任何 B-node 注册到模型中的所有 web 服务。

## 3. 原型系统

为了验证该模型，我们创建了一个基于 Java 语言和 WebSocket 的原型系统，该原型系统已作为开源项目发布在 Github (<https://github.com/WangMissYou/B-WSM>)。我们提供规范，包括项目的运行环境、操作说明和源代码。在我们的测试环境中，有四台计算机，我们命名为 A、B、C、D，每台计算机作为 B-node。首先，我们在计算机 A 上运行程序，A 是起源 B-node，就像比特币区块链中的创始节点一样。创始 B-node 创建成功后，其他用户可以申请成为 B-node。然后计算机 B、C、D 下载程序并运行。假设第二台计算机 B 申请加入 B-WSM 模型，计算机只能申请加入创世 B-node，因此创始节点将是计算机 B 的父节点（左节点），那么计算机 C 和 D 可以申请加入 B-WSM 模式。当计算机 D 申请加入模型时，模型中有 3 个 B-node，因此计算机 D 可以应用到任意一个 B-node 上。图 7 显示了系统计算机 D 申请加入模型界面。

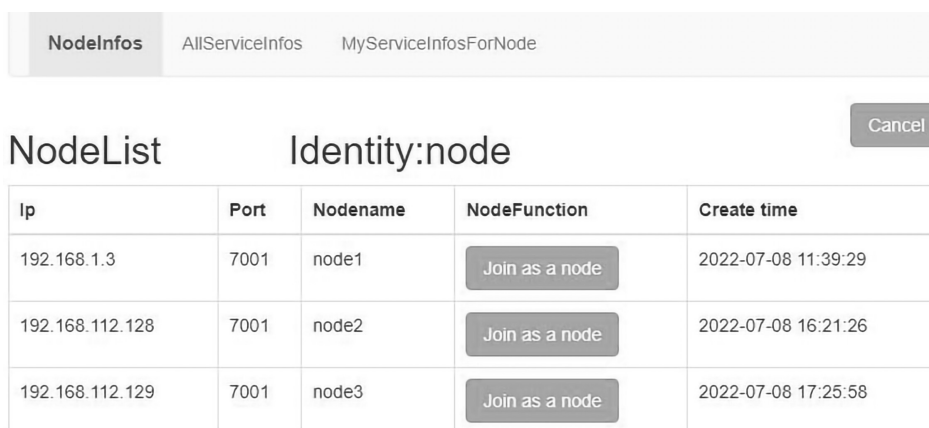


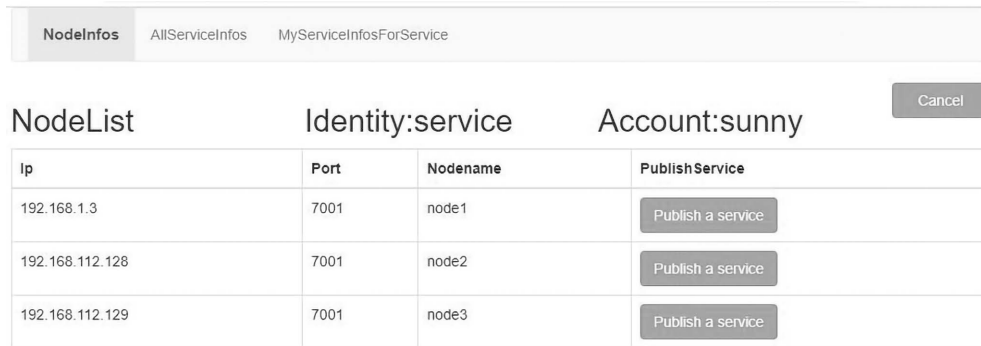
Figure 7. Computer D applies to join the model

图 7. 计算机 D 申请加入模型图

如图 7 所示，node1 为创世 B-node，IP 地址为 192.168.1.3。现在接口中有 3 个 B-node，计算机 D 可以申请任意一个加入模型。在图 7 中，Ip 列表表示各 B-node 的 Ip 地址，Port 列表表示 Socket 的通信端口，Nodename 列表表示各 B-node 的名称，Create time 列表表示各 B-node 的创建时间。计算机 D 可以通过单击界面中的“Join as a node”按钮之一来申请加入模型。

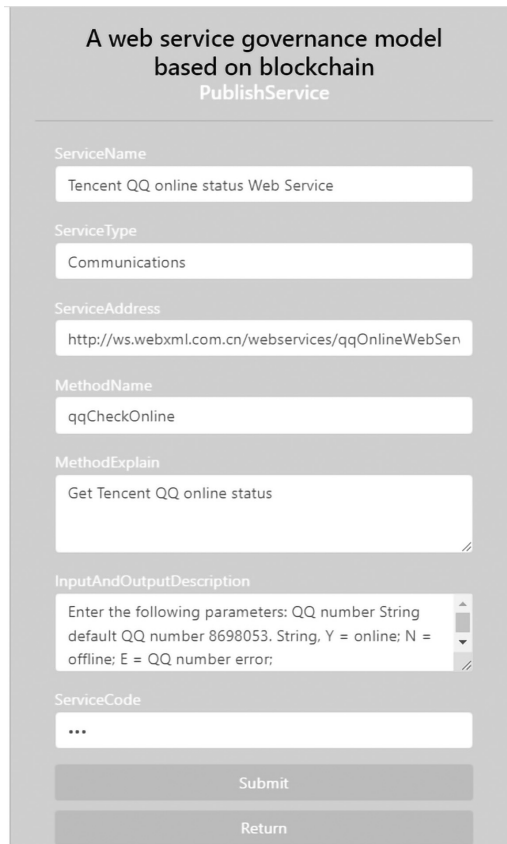


计算机 D 加入模型后，B-WSM 模型中有 4 个 B-node。通常，为了保持 B-WSM 模型正常运行，至少需要三个 B-node 保持在线状态。如果服务提供者想要发布 web 服务，他们可以选择一个 B-node 来注册他们的服务。图 8 显示了服务提供者用于发布服务的界面。



**Figure 8.** The interface of a service provider can apply to publish a service  
**图 8.** 服务提供者申请发布服务界面图

在图 8 中，NodeInfos 是列出模型中所有 B-node 的节点列表，AllServicesInfos 显示模型中所有的 web 服务，MyService 显示该帐户注册的所有 web 服务。如果服务提供者选择一个 B-node 发布 web 服务，将出现图 9 所示的界面。



**Figure 9.** The interface of publish a web service  
**图 9.** 发布服务界面图

如图 9 所示, 为了发布 web 服务, 服务提供者将提供 web 服务的详细信息。ServiceName 是 web 服务的名称, ServiceType 是 web 服务的类型, MethodName 是 web 服务的方法, MethodExplain 是 web 服务的介绍, InputAndOutputDescription 是 web 服务输入和输出的指令, ServiceCode 是系统在接口出现时创建的哈希值, ServiceCode 是该模型中 web 服务的唯一标识。我们使用的网络服务来自 [http://www.webxml.com.cn/zh\\_cn/index.aspx](http://www.webxml.com.cn/zh_cn/index.aspx) 网站。图 10 显示了服务请求者如何根据项目搜索 web 服务的界面。

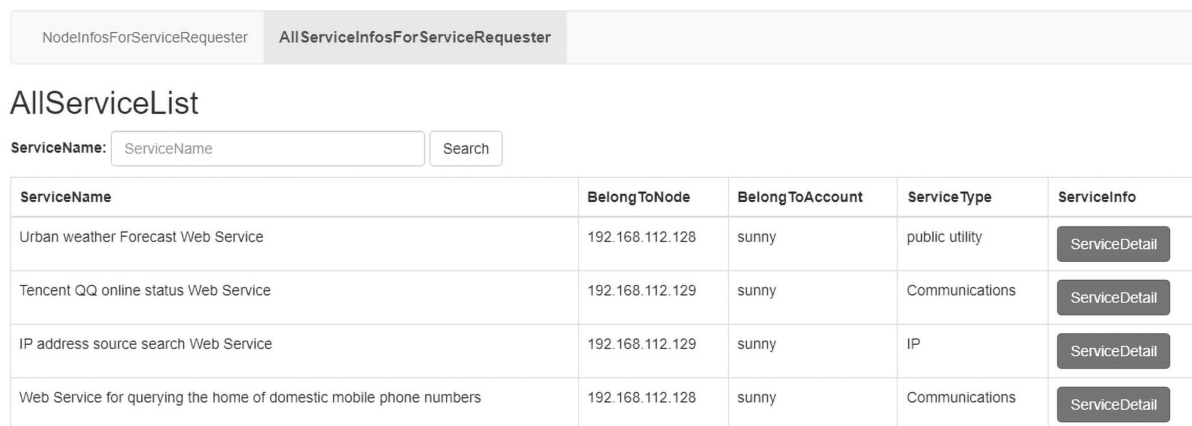


Figure 10. The interface of a service requestor searches a web service

图 10. 服务请求者获取 web 服务界面图

我们设计的原型项目验证了 B-WSM 模型的可行性, 我们将原型系统作为开源项目发布, 以便其他研究人员可以通过下载源代码继续我们的工作, 我们提供了操作说明。

#### 4. 结论和展望

区块链技术被设想为开启一个去中心化应用程序和服务时代, 而不需要可信的中介。然而, web 服务被视为区块链概念的主要用户。本文首次提出了一种基于无信任机制的 web 服务治理模型 B-WSM。本文首次对 B-WSM 模型的提出以及原型系统的开发验证了区块链相关技术与 web 服务结合。在 B-WSM 模型中, 我们将 web 服务治理与区块链理论相结合, 首次形成一种具有无信任、服务数据共享好以及服务治理整合性好等特点的结构模型, 不但验证了区块链技术与 web 服务结合解决服务治理的问题, 也为区块链与 web 服务结合的研究提供了一种新思路。该模型是首次提出的区块链相关技术与 web 服务治理结合的模式结构, 目前在区块链技术与 web 服务治理结构模型方面还没有更多的成果报道, 在做成果对比分析方面具有一定的局限性, 这也是本文研究的不足之处。未来随着类似于本文结构模型更多的提出, 我们会进行相关的成果对比分析。我们希望该模型的提出为区块链与 web 服务结合的研究者提供更多的思考和启发, 能够推动该研究领域的进一步发展和深入。最后, 我们要继续推进这个项目, 希望未来能有超过 1000 个 B-node 加入 B-WSM 模型。

#### 基金项目

作者声明本文不存在利益冲突。本研究成果是由辽宁省教育基金资助[grant no. LJKZ0595]以及辽宁省教育厅 2020 年度科学研项目资助(辽宁省青年科技创新人才培养与激励机制研究) [lnqn202035]。

#### 参考文献

[1] 邵奇峰, 金澈清, 张召, 等. 区块链技术: 架构及进展[J]. 计算机学报, 2018, 41(5): 969-988.

- [2] Juric, M.B., Sasa, A., Brumen, B. and Rozman, I. (2009) WSDL and UDDI Extensions for Version Support in Web Services. *Journal of Systems and Software*, **82**, 1326-1343. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2009.03.001>
- [3] 肖勇, 刘建勋, 胡蓉, 曹步清, 曹应成. 基于GAT2VEC的Web服务分类方法[J]. 软件学报, 2021, 32(12): 3751-3767. <https://doi.org/10.16088/j.issn.1001-6600.2020111402>
- [4] 路凯峰, 杨溢龙, 李智. 一种基于BERT和DPCNN的Web服务分类方法[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2021, 39(6): 87-98. <https://doi.org/10.16088/j.issn.1001-6600.2020111402>
- [5] Yang, Y., Ke, W., Wang, W. and Zhao, Y. (2019) Deep Learning for Web Services Classification. 2019 *IEEE International Conference on Web Services (ICWS)*, Milan, 8-13 July 2019, 440-442. <https://doi.org/10.1109/ICWS.2019.00079>
- [6] Chen, K. and Kuang, C. (2021) Web Service Discovery Based on Maximum Weighted Bipartite Graphs. *Computer Communications*, **171**, 54-60. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2021.01.031>
- [7] 杜胜浩, 钱晓捷. 基于刻画与本体标识的语义Web服务发现方法[J]. 计算机工程, 2018, 44(8): 224-229+236. <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0047537>
- [8] 姚喜, 宁玉辉, 赵淑芳, 孙磊. 基于服务组合簇集的Web服务发现[J]. 计算机工程与设计, 2022, 43(8): 2228-2235. <https://doi.org/10.16208/j.issn1000-7024.2022.08.018>
- [9] 于扬, 邢宾, 曾骏, 文俊浩. KSN: 一种基于知识图谱和相似度网络的Web服务发现模型[J]. 计算机科学, 2021, 48(10): 160-166.
- [10] Shahzaad, B., Bouguettaya, A., Mistry, S. and Neiat, A.G. (2019) Composing Drone-as-a-Service (DaaS) for Delivery. 2019 *IEEE International Conference on Web Services (ICWS)*, Milan, 8-13 July 2019, 28-32. <https://doi.org/10.1109/ICWS.2019.00017>
- [11] Kang, G., Liu, J., Cao, B. and Cao, M. (2020) NAFM: Neural and Attentional Factorization Machine for Web API Recommendation. 2020 *IEEE International Conference on Web Services (ICWS)*, Beijing, 19-23 October 2020, 330-337. <https://doi.org/10.1109/ICWS49710.2020.00050>
- [12] Wang, Z., Xiao, Y., Sun, C., Zheng, W. and Jiao, X. (2020) Location-Aware Feature Interaction Learning for Web Service Recommendation. 2020 *IEEE International Conference on Web Services (ICWS)*, Beijing, 19-23 October 2020, 232-239. <https://doi.org/10.1109/ICWS49710.2020.00037>
- [13] Hammal, Y., Mansour, K.S., Abdelli, A. and Mokdad, L. (2020) Formal Techniques for Consistency Checking of Orchestrations of Semantic Web Services. *Journal of Computational Science*, **44**, Article ID: 101165. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2020.101165>
- [14] 孙天昊, 刘洪辉, 马辉, 朱庆生. 基于并发协商的Web服务发现模型[J]. 北京理工大学学报, 2015, 35(9): 980-984. <https://doi.org/10.15918/j.tbit1001-0645.2015.09.019>
- [15] Li, S., Luo, H. and Zhao, G. (2020) Bi-HPTM: An Effective Semantic Matchmaking Model for Web Service Discovery. 2020 *IEEE International Conference on Web Services (ICWS)*, Beijing, 19-23 October 2020, 433-440. <https://doi.org/10.1109/ICWS49710.2020.00064>
- [16] Abidi, S., Essafi, M., Guegan, C.G., Fakhri, M., Wittl, H. and Ghezala, H.H.B. (2019) A Web Service Security Governance Approach Based on Dedicated Micro-Services. *Procedia Computer Science*, **159**, 372-386. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.192>
- [17] Zhang, Y., Ma, D., Sun, X., Chen, K. and Liu, F. (2020) WGT: Thwarting Web Attacks through Web Gene Tree-Based Moving Target Defense. 2020 *IEEE International Conference on Web Services (ICWS)*, Beijing, 19-23 October 2020, 364-371. <https://doi.org/10.1109/ICWS49710.2020.00054>
- [18] 张华. 基于Cloudlet电子政务Web服务安全和信任模型设计[J]. 信息技术, 2021(8): 64-69. <https://doi.org/10.13274/j.cnki.hdzt.2021.08.012>
- [19] Shi, M., Tang, Y., Zhu, X. and Liu, J. (2020) Topic-Aware Web Service Representation Learning. *ACM Transactions on the Web*, **14**, Article No. 9. <https://doi.org/10.1145/3386041>
- [20] Shan, C. and Du, Y. (2021) A Web Service Clustering Method Based on Semantic Similarity and Multidimensional Scaling Analysis. *Scientific Programming*, **2021**, Article ID: 6661035. <https://doi.org/10.1155/2021/6661035>
- [21] 王琨, 胡强, 王华东, 杜军威. 融合功能语义与服务协作关系的Web服务聚类方法[J/OL]. 计算机集成制造系统: 1-17. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5946.TP.20220314.1033.002.html>, 2023-03-05.
- [22] Kish, A.V. (2015) Data Partitioning for Distributed Web Service Transactions. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, **31**, 234-241.
- [23] Mehta, H.K., Kanungo, P. and Chandwani, M. (2011) Distributed Database Caching for Web Applications and Web Services. *Proceedings of the International Conference & Workshop on Emerging Trends in Technology*, Mumbai, 25-26 February 2011, 510-515. <https://doi.org/10.1145/1980022.1980132>

- [24] Qi, L., Wang, R., Hu, C., Li, S., He, Q. and Xu, X. (2019) Time-Aware Distributed Service Recommendation with Privacy-Preservation. *Information Sciences*, **480**, 354-364. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2018.11.030>
- [25] Sadeghiram, S., Ma, H. and Chen, G. (2020) QoS-Constrained Multi-Objective Distributed Data-Intensive Web Service Composition-Nsga-II with Repair Method. *Proceedings of the 2020 Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion*, Cancún, 8-12 July 2020, 105-106. <https://doi.org/10.1145/3377929.3389977>
- [26] Nakamoto, S. (2008) Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. *Decentralized Business Review*, **2008**, 21260.
- [27] Antal, C., Cioara, T., Antal, M., Mihailescu, V., Mitrea, D., Anghel, I., Salomie, I., Raveduto, G., Bertoncini, M., Croce, V., et al. (2021) Blockchain Based Decentralized Local Energy Flexibility Market. *Energy Reports*, **7**, 5269-5288. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.08.118>
- [28] Tenorio-Fornes, A., Tirador, E.P., Sanchez-Ruiz, A.A. and Hassan, S. (2021) Decentralizing Science: Towards an Interoperable Open Peer Review Ecosystem Using Blockchain. *Information Processing & Management*, **58**, Article ID: 102724. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2021.102724>
- [29] Omar, I.A., Hasan, H.R., Jayaraman, R., Salah, K. and Omar, M. (2021) Implementing Decentralized Auctions Using Blockchain Smart Contracts. *Technological Forecasting and Social Change*, **168**, Article ID: 120786. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120786>
- [30] Truong, N., Lee, G. M., Sun, K., Guitton, F. and Guo, Y. (2021) A Blockchain-Based Trust System for Decentralised Applications: When Trustless Needs Trust. *Future Generation Computer Systems*, **124**, 68-79. <https://doi.org/10.1016/j.future.2021.05.025>
- [31] Hassan, A., Ali, M. I., Ahammed, R., Khan, M. M., Alsufyani, N. and Alsufyani, A. (2021) Secured Insurance Framework Using Blockchain and Smart Contract. *Scientific Programming*, **2021**, Article ID: 6787406. <https://doi.org/10.1155/2021/6787406>
- [32] Anwar ul Hassan, C., Hammad, M., Iqbal, J., Hussain, S., Ullah, S.S., AlSalman, H., Mosleh, M.A. and Arif, M. (2022) A Liquid Democracy Enabled Blockchain-Based Electronic Voting System. *Scientific Programming*, **2022**, Article ID: 1383007. <https://doi.org/10.1155/2022/1383007>
- [33] Zhou, Z., Wang, M., Yang, C.N., Fu, Z., Sun, X. and Wu, Q.J. (2021) Blockchain-Based Decentralized Reputation System in E-Commerce Environment. *Future Generation Computer Systems*, **124**, 155-167. <https://doi.org/10.1016/j.future.2021.05.035>
- [34] 何昀航, 戴辰. 基于区块链的物联网任务协作信任管理方案[J/OL]. 计算机应用研究: 1-6. <https://doi.org/10.19734/j.issn.1001-3695.2022.11.0634>, 2023-03-05.
- [35] 杨磊, 龙伟. 基于区块链的车联网信任机制[J/OL]. 计算机应用研究: 1-8. <https://doi.org/10.19734/j.issn.1001-3695.2022.11.0565>, 2023-03-05.
- [36] Lu, Q., Xu, X., Liu, Y., Weber, I., Zhu, L. and Zhang, W. (2019) uBaaS: A Unified Blockchain as a Service Platform. *Future Generation Computer Systems*, **101**, 564-575. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.05.051>
- [37] Song, J., Zhang, P., Alkubati, M., Bao, Y. and Yu, G. (2022) Research Advances on Blockchain-as-a-Service: Architectures, Applications and Challenges. *Digital Communications and Networks*, **8**, 466-475. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2021.02.001>
- [38] Liu, X., Sun, S.X. and Huang, G. (2019) Decentralized Services Computing Paradigm for Blockchain-Based Data Governance: Programmability, Interoperability, and Intelligence. *IEEE Transactions on Services Computing*, **13**, 343-355. <https://doi.org/10.1109/TSC.2019.2951558>