

# 区块链服务网络的构建机理与技术实现\*

单志广<sup>1</sup>, 张延强<sup>1</sup>, 谭敏<sup>2</sup>, 何亦凡<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(国家信息中心 信息化和产业发展部, 北京 100045)

<sup>2</sup>(中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080)

<sup>3</sup>(北京红枣科技有限公司, 北京 100085)

通信作者: 单志广, E-mail: [shanzg@sic.gov.cn](mailto:shanzg@sic.gov.cn)



**摘要:** 联盟链技术是我国区块链发展和应用的主阵地。传统联盟链应用存在底层技术平台异构、应用技术门槛高、成链成本大、运维监管难等瓶颈问题, 限制了区块链技术与应用发展。提出一种区块链公用基础设施——区块链服务网络 (blockchain-based service network, BSN) 的构建机理, 阐述 BSN 的技术架构和实现机制。BSN 已于 2020 年 4 月在中国正式商用, 能够显著降低区块链开发、部署、运维、互通和监管成本, 有利于区块链技术向企业、政府、行业等领域推广应用, 为我国新型智慧城市建设和数字经济发展提供了可信可控的公用基础设施和服务载体。

**关键词:** 区块链服务网络; 联盟链; 公用基础设施; 跨链技术; 技术架构

**中图法分类号:** TP311

中文引用格式: 单志广, 张延强, 谭敏, 何亦凡. 区块链服务网络的构建机理与技术实现. 软件学报, 2023, 34(5): 2170–2180. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/6392.htm>

英文引用格式: Shan ZG, Zhang YQ, Tan M, He YF. Construction Mechanism and Technical Implementation of Blockchain-based Service Network. Ruan Jian Xue Bao/Journal of Software, 2023, 34(5): 2170–2180 (in Chinese). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/6392.htm>

## Construction Mechanism and Technical Implementation of Blockchain-based Service Network

SHAN Zhi-Guang<sup>1</sup>, ZHANG Yan-Qiang<sup>1</sup>, TAN Min<sup>2</sup>, HE Yi-Fan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(Department of Informatization and Industry Development, State Information Center, Beijing 100045, China)

<sup>2</sup>(China Mobile Group Design Institute Co. Ltd., Beijing 100080, China)

<sup>3</sup>(Beijing Red Date Technology Co. Ltd., Beijing 100085, China)

**Abstract:** Consortium blockchain technology is the main position of China's blockchain development and application. The traditional consortium blockchain application has some bottlenecks, such as heterogeneous underlying technology platform, high application technology threshold, high cost of chain formation, and difficult operation and maintenance supervision, which restrict the development of blockchain technology and application. This study proposes the construction mechanism of a public infrastructure of blockchain, named as blockchain-based service network (BSN), and expounds on the technical architecture and implementation of BSN. The BSN has become a commercial platform in China since April 2020. It can reduce the cost of blockchain development, deployment, operation and maintenance, interaction, and supervision. BSN is conducive to the promotion and application of blockchain technology to enterprises, governments, industries, and other fields, and will provide reliable and controllable public infrastructure for the construction of innovative smart cities and the development of digital economy in China.

**Key words:** blockchain-based service network (BSN); consortium blockchain; public infrastructure; cross-chain technology; technical architecture

\* 基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (61832012); 国家科技重点研发计划 (2018YFB0803401, 2018YFB2100804)

收稿时间: 2020-07-06; 修改时间: 2020-11-10, 2021-05-18, 2022-10-20; 采用时间: 2023-03-17; jos 在线出版时间: 2023-03-29

CNKI 网络首发时间: 2023-03-30

区块链技术因具有非中心化、不可篡改、不可伪造、可追溯、规则透明、多方共识等特点,可在不信任或弱信任环境下实现信息对称和价值传递,自2008年伴随比特币区块链<sup>[1]</sup>诞生以来,受到了业界的广泛关注.区块链本质上是以分布式数据存储、点对点传输、共识机制、加密算法、智能合约等计算机技术集成创新而产生的分布式账本技术,其通过新的信任机制改变了连接方式,带来生产关系的改变,为不同参与主体间、不同行业的可信数据交互提供了有效的技术手段,实现从“信息互联网”向“价值互联网”转变<sup>[2]</sup>.区块链技术被认为是数字经济、智慧城市、数字政府建设和发展的基石,已经广泛应用于数字金融、物联网、智能制造、供应链管理、慈善捐赠、物品溯源、数字资产交易等多个领域,加快区块链技术研究、推动区块链产业创新发展、实现区块链和经济社会融合发展,成为全球主要国家的发展重点和共识<sup>[3-6]</sup>.

根据区块链的节点准入机制、去中心化程度和应用场景不同,区块链分为公有链和许可链<sup>[7]</sup>.公有链是指完全开放的区块链,任何节点无需许可就能够随时加入和退出,具有完全去中心化和难以监管特点,其通常采用PoW<sup>[2]</sup>、PoS<sup>[8]</sup>等基于证明的共识机制发行虚拟货币实现对竞争记账节点的激励,以比特币区块链和以太坊区块链<sup>[9]</sup>为典型代表.公有链允许任何节点自由地匿名加入或退出,不受任何监管地进行数据交易和信息扩散,为各国政府带来监管挑战.公有链应用PoW等共识机制造成大量算力资源浪费,一旦投入运行,其内部业务逻辑很难再进行改变或灵活调整,从而导致公有链技术无法满足大多数商业环境、行政体系以及个体之间的数据处理和监管需求.目前,除了大部分虚拟货币使用公有链以外,几乎没有其他信息化应用采用纯公有链架构<sup>[10]</sup>.许可链节点需要经过一定授权才能参与区块链应用,又可分为联盟链和私有链,由特定联盟或部门进行运营管理,并非完全去中心化,能够实现特定条件下的可信监管.私有链多应用于企业内部,应用场景受限且相对封闭.综合来看,联盟链已成为各国争相发展和企业广泛应用的区块链重要分支.以Linux基金会的Hyperledger Fabric<sup>[11]</sup>为典型代表,并诞生了供应链金融、数字存证等一批“杀手级”应用.区块链技术正在从比特币区块链1.0(纯代币)、以太坊区块链2.0(代币+智能合约)向联盟链3.0(无代币、高吞吐、高可信、可监管、多中心/弱中心、去中介)阶段演进.

为推动联盟链技术与产业应用,国内外相关机构推出了一批联盟链底层技术平台.邵奇峰等人<sup>[12]</sup>从企业应用需求角度介绍了相关联盟链技术及底层技术平台.国外联盟链底层平台发展相对较多,以Linux基金会的Hyperledger Fabric、企业以太坊联盟(EEA)的Quorum<sup>[13]</sup>和R3金融区块链联盟的Corda<sup>[14]</sup>最有影响力,他们都有完备的软件实现、大量的应用实践和广泛的客户群体.其中,Hyperledger Fabric采用合约执行与共识机制相分离的平台架构,具有完备的权限控制和安全保障,模块化设计实现了共识服务等即插即用.国内相关机构纷纷结合行业发展需求构建相应的区块链底层技术平台.2017年7月,金链盟在以太坊基础上加入PBFT共识机制、CA身份认证等组件,提出了应用于金融领域的FISCO BCOS<sup>[15]</sup>.2017年7月,杭州溪塔科技通过对以太坊智能合约进行封装与兼容,组建可插拔,支持原生合约直接转化为机器指令码,提出了面向企业级应用的支持智能合约的联盟链底层技术框架CITA<sup>[16]</sup>.2018年2月,苏州同济区块链研究院等开发的梧桐链<sup>[17]</sup>实现了自主密码算法和智能合约引擎,支持基于私有云和公有云部署和扩展,并在供应链金融、超级医疗账本、可信电子凭证等领域应用.2018年3月,中钞研究院等开发的多链架构Brochain<sup>[18]</sup>,突破了单链的功能和性能束缚,有效发挥了各应用和行业应用底层区块链的网络效应.2019年5月,百度自主研发区块链平台XuperChain<sup>[19]</sup>正式开源,提供多组件、定制化开发服务,支持全球部署和链内并行,是一个面向企业开发和用户使用的区块链底层技术平台.2020年3月,火链中国等开发的链火BaaS平台集成了Fabric国密密码算法,构建了共识处理和存储账本的多应用链体系,支持企业级用户在公有云、私有云及混合云上协同灵活部署.这些支持联盟链应用的区块链底层技术平台的上线,将加速区块链在各行各业落地,推动区块链和实体经济深度融合.

从联盟链应用开发部署过程来看,联盟链应用各参与方需要基于一定的区块链底层技术平台,单独建立并运维自身专属的区块链节点和相应的共识机制,每个节点均需使用物理服务器或者云服务资源,所有节点通过互联网或内部网络连接在一起,形成类似局域网的孤立区块链应用.这意味着应用的参与方每参与一个不同组织联盟的区块链应用就需要建立一套区块链运行环境,从而导致负担过重,并且绝大多数情况下,服务器资源处于低负荷运行或闲置状态.目前市场上包含4节点的联盟链应用的服务定价约为每年10万元,这种高成本的部署和运维架构极大提高了普通用户参与门槛.此外,各联盟链应用所采用的底层技术平台异构,没有统一的技术标准,业务数

据无法高效交互<sup>[20]</sup>, 制约了区块链的技术转化和产业布局. 因此, 行业内亟需建立各方公认的底层公用基础设施<sup>[10]</sup>.

2018 年以来, 针对我国区块链应用缺乏底层公用基础设施引致技术门槛高、成链成本高、运营成本高、底层平台异构、运维监管难等瓶颈制约, 国家信息中心联合中国移动、中国银联、北京红枣科技等单位, 研发和构建了一种区块链公用基础设施——区块链服务网络 (blockchain-based service network, BSN). 本文将介绍 BSN 的构建机理和技术架构实现. BSN 通过建立区块链底层技术平台适配标准, 推动国内外主流区块链底层技术平台适配部署; 通过盘活运营商等闲置云计算资源, 为开发者、用户及企业提供跨公网、跨地域、跨机构灵活接入服务; 通过预制链码机制提供“搭积木”式系统开发服务, 降低了区块链应用的开发、部署、运维、互通和监管成本. BSN 的构建可为推进区块链与经济社会融合发展提供高质量、定制化的技术平台支撑和可信、可靠、可扩展的基础设施服务载体, 有利于快速推进区块链技术的普及应用.

本文提出 BSN 的构建机理和技术实现, 可为推进区块链技术的普及应用提供公用服务载体. 第 1 节重点介绍 BSN 的构建机理和技术架构实现. 第 2 节介绍 BSN 的公共城市节点部署、底层技术平台适配等建设进展. 第 3 节总结本文工作内容, 并展望未来工作.

## 1 BSN 构建机理与技术架构

本节介绍 BSN 的构建机理和技术架构设计, 包括 BSN 构建机理、技术架构、运行生态和主要技术特点 4 个部分.

### 1.1 BSN 的构建机理

由于每个区块链应用底层技术平台共识算法、传输机制和开发工具不同, 导致不同框架间难以有效进行跨链数据交换<sup>[20]</sup>, 往往一个新的区块链应用上线, 某种程度上意味着“新数据孤岛”的产生. 与此同时, 我国云计算和数据中心资源丰富, 三大运营商几乎在每个地市都建有数据中心, 2019 年我国数据中心数量大约有 7.4 万个, 数据中心机架规模达到 227 万架, 可对外服务的 IDC 数据中心数量为 2213 个, 其中约有一半的云计算资源处于闲置状态.

本文提出构建一种区块链公用基础设施, 打通区块链底层技术平台, 实现不同框架间跨链数据交换, 盘活闲置云计算资源, 推动区块链应用跨公网、跨地域、跨机构灵活接入服务, 为破解当前我国区块链应用技术门槛高、成链成本大、运营成本高、底层平台异构、运维监管难等瓶颈问题提供了创新性解决方案, 推动形成“人人可用、人人能用、人人会用”的发展格局, 繁荣区块链应用生态. 本文提出的 BSN 的构建机理可以归纳为“一基一核六跨七性”.

(1) 一基, 即以联盟链架构为基础. 区块链公用基础设施应符合我国法律监管要求, 基于应用需求最大的联盟链架构, 不支持比特币等公有链应用, 所有区块链应用均需获得审批及代码审查后方能上线运行, 便于政府机关和相关机构监督管理.

(2) 一核, 即以服务数字经济、智慧城市、数字政府等数字化发展为核心. 充分发挥区块链在促进数据共享、优化业务流程、降低运营成本、提升协同效率、建设可信体系等方面的作用. 面向数字经济、智慧城市、数字政府等发展需求, 通过提供一站式的区块链运行环境和节点精细化的计算、存储和网络服务, 有效降低区块链部署运维成本, 通过智能网关和预制链码机制, 有效降低区块链应用开发技术门槛, 利用区块链技术促进数据、信息、资金、人才、征信等方面更大规模的互联互通, 保障生产要素在区域内有序高效流动.

(3) 六跨, 即打造“跨云服务、跨门户、跨底层框架、跨公网、跨地域、跨机构”的服务体系. 一是跨云服务, 用户可以自由在任何云服务商的资源上部署应用, 甚至可以将一个应用的多个记账节点部署在不同的云服务商的公共城市节点上. 二是跨门户, 不同的用户可以在不同门户内加入同一个联盟链. 三是跨底层框架, 通过制定区块链底层框架适配标准, 打通区块链底层技术平台, 实现不同框架间跨链数据交换. 四是跨公网, 区块链公用基础设施支持任意用户使用任意公网自由访问. 五是跨地域, 区块链公用基础设施应该是一个全球性部署的网络设施, 一个区块链应用可根据需要选择不同地域的记账节点构成. 六是跨机构, 区块链公用基础设施应支持跨机构接入和业务协同.



(4) 七性, 即具体“自主性、开放性、公用性、扩展性、开源性、多门户、低成本”的属性特征. 一是自主性, BSN 由中国自主研发并控制入网权. 二是开放性, 与互联网通过 TCP/IP 协议把数据中心资源连接起来类似, BSN 没有唯一所有者, 通过一套区块链环境和协议把数据中心资源连接起来. 三是公用性, 要以建设公共基础设施的理念进行研究、设计、建设和运营, 而不是一个完全商业化的项目. 四是扩展性, 允许所有符合安全和配置要求的数据中心和云服务资源依申请加入 BSN. 五是开源性, 遵循区块链开源发展理念, 公共城市节点软件必须开源, 运行机制对所有人透明. 六是多门户, BSN 采取多门户策略, 避免垄断和排他性, 任何加入网络的云服务商均可以自建服务门户, 管理自己的开发者和服务产品. 七是低成本, 构建 BSN 的最直接目的就是降低区块链应用的开发、部署、运维、互通和监管成本, 从而推动区块链技术的普及和发展.

## 1.2 BSN 的技术架构

基于上述区块链公共基础设施构建机理, BSN 由公共城市节点、底层技术平台、服务门户和运维系统等组成, 技术架构如图 1 所示.

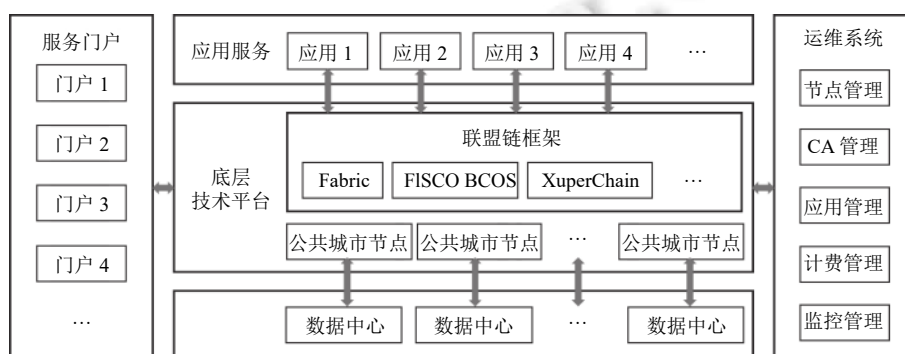


图 1 BSN 技术架构图

(1) 公共城市节点. 公共城市节点是 BSN 的基础运行单元, 其主要功能是为区块链应用运行提供访问控制、交易处理、数据存储和计算力等系统资源. 每个公共城市节点的所有方为云资源或数据中心的提供者. 所有方在云资源内安装公共城市节点软件并完成入网流程后, 即可建成 BSN 上的一个公共城市节点. 节点建成后, 应用发布者就能在门户内检索到该节点, 并购买其资源作为应用部署的公共城市节点之一. 当一个公共城市节点内资源使用趋于饱和时, 所有方可以随时增加系统资源来提高公共城市节点的负载能力. 根据已运行的应用数量和并发需求, 每个公共城市节点均动态部署一定数量的公共交易背书和记账节点 (统称为“记账节点”), 并通过负载均衡机制为高并发应用动态分配独享的高性能资源配置记账节点, 而让多个低并发应用共享一个记账节点.

(2) 底层技术平台. BSN 底层技术平台可以被视为是区块链应用的操作系统. 当前是联盟链底层技术平台多元化的时期, 仅在中国就有多个主流底层框架, 每个框架有自己的共识算法、传输机制和开发者工具等. 为推动 BSN 与相应联盟链底层技术平台适配, BSN 建立了底层框架适配标准 (内容详见第 2.2 节), 每个联盟链底层技术平台均应遵守密钥算法和网关 SDK 等一系列标准才能接入 BSN, 以实现跨底层技术平台的跨链数据交互.

(3) 服务门户. 借鉴互联网思想, BSN 采取多门户策略, 加入 BSN 的云服务提供方、底层技术平台方等拥有开发者资源的企业均可以申请建立服务门户, 服务门户可以是单独的 BaaS 网站, 也可以在现有云服务门户或开发者社区门户的基础上增加 BaaS 功能. 在服务门户内, 开发者可以购买服务网络资源、发布应用和管理应用.

(4) 运维系统. BSN 的运维系统是一个中心化的调度管理系统, 包括节点管理、应用管理、计费管理、CA 管理和监控管理等功能. 运维系统还是 BSN 的管理后台, 实现网络运行监控、应用自动部署、公共城市节点入网管理、资源调配和基础能力管理, 如图 2 所示. 云服务提供方将云资源加入 BSN 后, 只需管理硬件和网络, 公共城市节点的运维由 BSN 统一管理. BSN 各服务门户仅需负责自己门户的日常运维, 对通过其门户部署到 BSN 上的应用, 也由 BSN 统一安排日常维护. 运维系统采用松耦合设计模式, 即运维系统的职责是对整个 BSN 的调度和监

控, BSN 中各个节点基于联盟链的多中心化的执行逻辑, 其上运行的区块链应用不依赖于运维系统, 确保在极端情况下运维系统出现故障时, 不影响 BSN 区块链应用的运行。

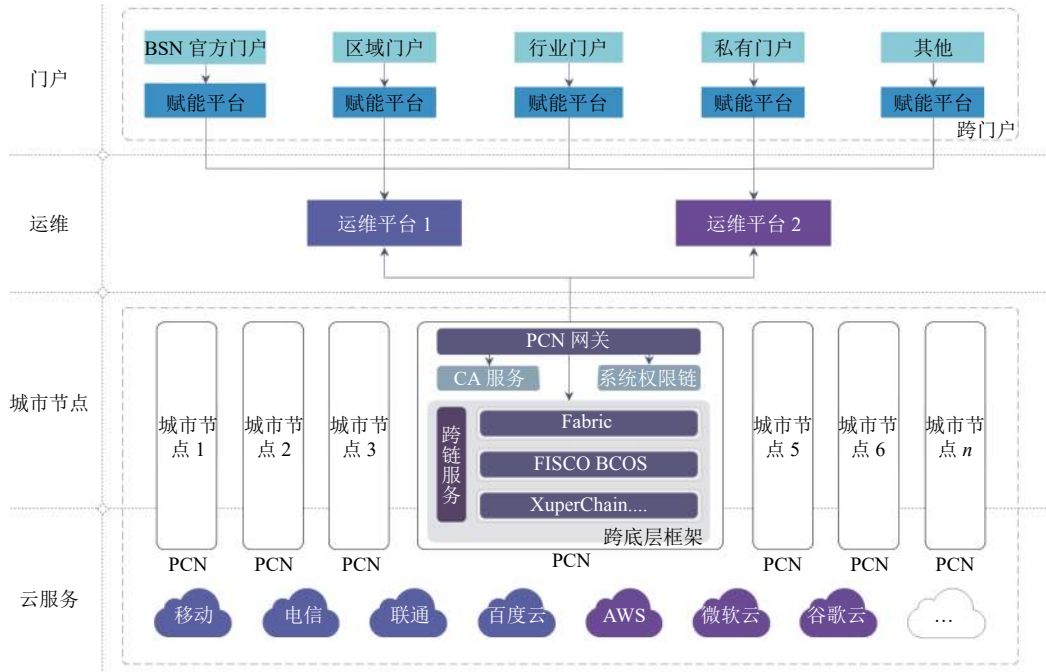


图 2 BSN 运维系统结构图

BSN 的运行逻辑关系如后文图 3 所示。所有公共城市节点和共识排序集群服务通过互联网进行连接。应用发布者根据业务需求选择若干公共城市节点, 以及每个节点上所需的 TPS、存储和带宽来发布应用, 并根据权限配置规则把应用灵活设定为私链或联盟链。在整个过程中, 应用的发布者可以集中精力进行创新和业务执行, 而不需要再花费任何额外成本去建设和维护自己的区块链运行环境。在 BSN 中, 区块链应用既可以在单一公共城市节点内的多个区块链节点部署, 也可以在不同公共城市节点间的多个区块链节点部署。应用的不同参与方的链下业务系统可以接入应用部署节点所在公共城市节点的网关系统与区块链链上环境进行业务交易处理交互。

### 1.3 BSN 的运行生态

BSN 的生态由 5 部分组成。一是开发者, BSN 整体上是一个区块链应用运行环境, 它最终的用户为开发者。开发者可以通过任意一个服务网络门户, 在全世界任何公共城市节点上购买云资源, 并选择任何已适配的底层框架, 以极低的成本和极方便的操作进行区块链应用的开发、部署和运营。二是门户商, 云服务门户或开发者门户通过服务网络快速并低成本地建立 BaaS 平台, 向自己的客户提供基于服务网络的区块链服务, 销售 BSN 上的云资源, 管理自己的开发者和发布的应用, 并自行计费 and 收费。三是云服务商, 各云服务商可以通过安装免费的 BSN 公共城市节点软件加入 BSN, 将 BSN 作为云资源的一个销售渠道, 盘活闲置的资源。四是底层框架商, 根据底层框架适配标准将框架与 BSN 进行适配, 供开发者自由选择。五是运维方, BSN 有一个庞大的运维系统, 实现资源调配、节点运营、记账节点和集群的负载优化, 以及数据的迁移。

### 1.4 BSN 主要技术特点

根据上述 BSN 技术架构和运行机制, BSN 的主要技术特点如下。

(1) 实现跨链数据交互。BSN 通过建立区块链底层框架适配标准, 开展了 Hyperledger Fabric、FISCO BCOS 等国内外主流区块链底层技术平台适配研究和部署, 可灵活地实现基于不同区块链底层技术平台的链与链之间数据交互, 破解了跨链数据共享难题。

(2) 节省部署运维成本. BSN 提供一站式的区块链运行环境, 开发者无需再单独购买云服务或硬件服务器去搭建和维护自己的区块链系统. 公共城市节点和共识排序集群服务通过负载均衡机制和资源共享原则, 让服务网络能够为区块链应用提供长期、高效、稳定和价格合理的服务, 并将成链成本压缩至每年 2-3 千元, 使所有企业和个人开发者均可以进入区块链行业.

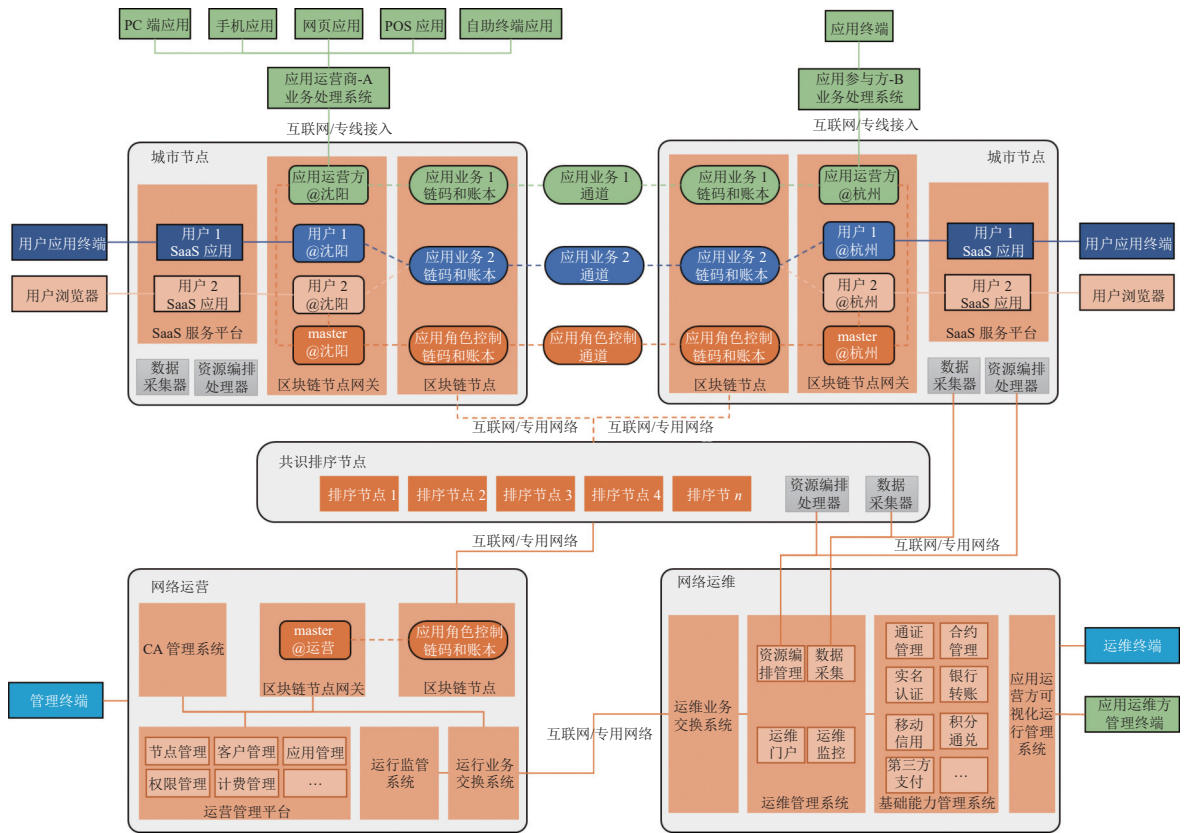


图3 BSN 运行逻辑关系图

(3) 降低应用开发门槛. 公共城市节点上的智能网关和预制链码机制使广大开发者仅使用自己熟悉的编程语言和运行环境即可轻松使用 BSN 进行区块链数据处理, 使传统业务系统拥有区块链功能. 传统业务系统在进行区块链升级改造过程中, 其主要工作是创建联盟链应用, 并根据自己的业务需要编写特定区块链底层框架的智能合约, 然后通过链下业务系统访问链上的智能合约, 实现业务场景的区块链应用. BSN 的多底层框架管理机制, 可以帮助用户快速地创建联盟链应用, 支持 Java、Python、Golang、C++、Solidity 等多种智能合约开发语言. 传统业务系统只需选择适合的区块链底层框架和熟悉的智能开发语言, 即可通过 BSN 智能网关快速完成区块链应用的部署、开发、测试和发布等. BSN 将与传统数据库和互联网一样, 成为开发者在业务设计、系统开发、产品运营过程中的一个常规选项.

(4) 实现安全可信监管. BSN 基于联盟链架构, 不支持比特币等公有链应用, 区块链应用均需获得审批及代码审查后方能上线运行, 便于政府机关和相关机构监督管理. BSN 基于分布式共享账本为数据交互和分布存储提供了准确性、不可篡改性和安全性保障. BSN 具备传统区块链优势的同时, 实现了可控可监管, 将为区块链技术和应用健康快速发展提供示范引领.

(5) 具有快速组网机制. 应用参与方可以通过互联网或专线的方式接入到就近的公共城市节点, 从而连入 BSN. 公共城市节点的建设可充分利用闲置和已有的云服务和数据中心, 无需重复投入. 全球任何拥有云服务或数

据中心资源的机构均可以在符合 BSN 标准和规范的前提下, 申请建立公共城市节点并接入 BSN.

## 2 BSN 的建设进展

### 2.1 公共城市节点部署

依托中国移动、中国电信和中国联通等主流云服务商在全国不同城市建立的 IDC 资源, 截至 2022 年底, BSN 已经在中国建立了 133 个公共城市节点, 并且开通了美国加利福尼亚、日本东京、澳大利亚悉尼、巴西圣保罗、南非约翰内斯堡和法国巴黎等国际公共城市节点, 涵盖了六大洲.

公共城市节点服务资源由 BSN 运行生态中的云服务商提供. 按照“平等自愿、互利共赢”的原则, 云服务商可以向运维方提出申请, 将其闲置的 IDC 资源作为公共城市节点加入 BSN. 公共城市节点由运维方进行管理, 结合云服务商加入 BSN 的意愿、资源定价情况, 公共城市节点管理主要包括入网开通、在网运行和退网管理 3 个子流程.

### 2.2 底层框架适配

截至 2022 年底, BSN 已经支持 Hyperledger Fabric、FISCO BCOS、国密 Fabric、CITA、梧桐链、Brochain、XuperChain 等国内外主流联盟链底层技术平台. 底层技术平台在 BSN 的整体结构中扮演着类似互联网中各类操作系统的角色和功能, 都有着自己的特性: 不同的链路组织模式、子链模式、安全控制、共识机制、智能合约、交易处理流程、密钥算法、账本存储、客户端 SDK 等. 底层技术平台需支持独立且隐私隔离的交易、共识处理和存储账本的多应用链体系, 如: 通道、群组、平行链、子链机制. 一个应用链内的交易处理、共识不受其他应用链影响, 各应用链有独立的账本, 维护自己的交易事务和数据. 各应用链之间解除耦合独立运行, 实现应用链间的隐私隔离. 联盟链底层技术平台需要遵守密钥算法等标准才能接入 BSN, 并且提供以公共城市节点为单位对公共城市节点内的区块链节点管理 SDK 的实现, 如表 1 和表 2 所示.

表 1 与 BSN 适配的联盟链底层技术平台功能需求表

项目	内容说明	是否必需
国密	SM2、SM3	必需
指定的非国密	spec256k1	可选
多应用链支持	支持独立且隐私隔离的多链机制, 支持动态管理	必需
智能合约引擎	支持图灵完备的智能合约引擎	必需
通信加密传输	支持全流程通信加密传输	必需
智能合约	支持智能合约升级, 多版本管理	必需
动态调整网络	支持动态增减节点	必需
访问权限控制	支持完备的访问权限控制	必需

表 2 与 BSN 适配的联盟链底层技术平台 SDK 需求表

项目	内容说明	是否必需
应用链管理	支持生成应用链配置、节点动态加入和退出	必需
智能合约管理	合约编译、安全检测、部署、卸载	必需
运行状态数据	节点状态数据、应用链状态数据	必需
执行交易处理	交易封装、交易签名、同步/异步交易提交、交易查询	必需
账本信息查询	账本高度、大小、交易总数等	必需
区块信息查询	区块号、区块哈希、上一个区块的哈希、区块的大小、交易数量、创建时间等	必需
链上事件推送	合约事件、账本区块事件	必需

### 2.3 异构跨链通信

随着区块链技术的广泛应用, 不同区块链应用之间数据的跨链通信需求越来越迫切. BSN 在适配多底层框架



的基础上, 提供了一套轻量级的异构跨链通信协议, 采用双层结构设计, 利用中继链作为跨链适配器, 多条异构链作为跨链执行器, 从而满足了跨链通信过程中信息的有效性、安全性和事务性的需求. 如图 4 所示, BSN 的跨链通信协议支持通过桥接的方式对接外部异构区块链应用. 不同的区块链应用通过跨链通信协议分别和跨链枢纽节点通信, 进行应用链的数据传输. 跨链通信协议通过共识机制实现多个异构区块链应用之间数据交换.

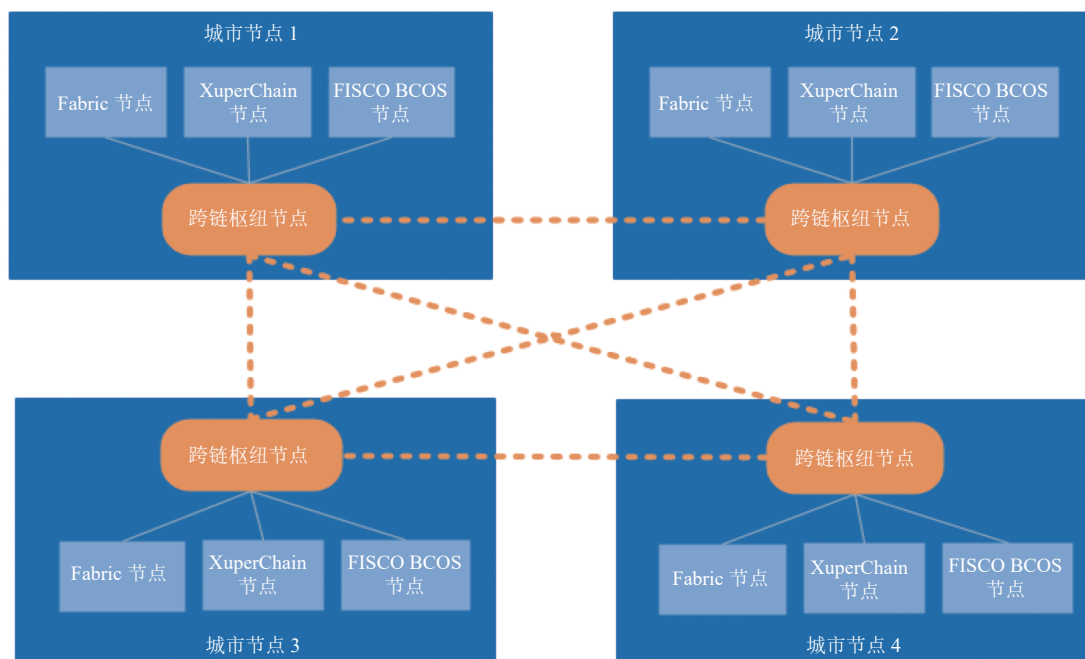


图 4 BSN 跨链通信结构图

从结构设计上看, BSN 的跨链架构接入简单方便, 应用链不需要做定制化开发适配, 仅需部署跨链智能合约即可, 并且支持同构和异构底层框架的跨链互通. BSN 跨链提供了事务性支持, 不仅支持事务的最终一致性, 还支持事务的强一致性需求; BSN 跨链协议以密码学、共识算法等为基础, 各应用链的跨链交易合法性可验证、安全性高.

#### 2.4 性能指标测试

BSN 不断完善和优化整个平台技术体系架构. 基于“跨云服务、跨门户、跨底层框架、跨公网、跨地域、跨机构”环境, BSN 在平台处理能力、响应能力和稳定性方面取得了良好的效果. 性能方面, BSN 集成的各个底层框架均可支持每个应用每秒 1000 笔的交易事务. 如图 5 所示, 在 CPU8 核、内存 16 GB、高速硬盘读写 150 MB/s、千兆网卡配置的 CentOS 为操作系统的主机内, 部署了 3 个记账节点的区块链电子存证应用, 在 Fabric、FISCO 和 XuperChain 这 3 种底层框架下, 分别进行交易的并发压力测试. 测试结果表明, Fabric、FISCO 和 XuperChain 这 3 种底层框架平均交易并发分别为 1092、4494 和 4490 笔, 能够满足大多数应用场景需求. 服务门户系统支持峰值用户不低于 20000 个, 平均在线用户不低于 5000 个, 并发用户不低于 3000 个. 如图 6 所示, 随着服务门户系统并发用户数的增加, CPU 使用率逐渐上升, 当并发用户数达到 20000 左右时, CPU 使用率始终保持在 85% 以下, 服务门户系统运行平稳. 在响应能力方面, 同一区块链底层框架支持验证节点通信规模不小于 10 个, 支持网络记账节点规模不小于 50 个, 节点通信延迟不高于 200 ms, 事务提交到数据写链的延迟时间根据部署应用的城市节点和记账节点数量不同, 一般为 2–10 s. 跨链通信延迟不高于 6 s, 针对一般性交易场景, 签名及验签时间不超过 1 s. 在稳定性方面, BSN 平均无故障率不低于 99.99%, 如出现妨碍顺利进行的系统错误或意外中止的情况, 网络设备、安全设备、服务器、存储系统等网络硬件设备均可利用城市节点的云服务资源和受许可的物理服务器资源, 保证系统正常运行.



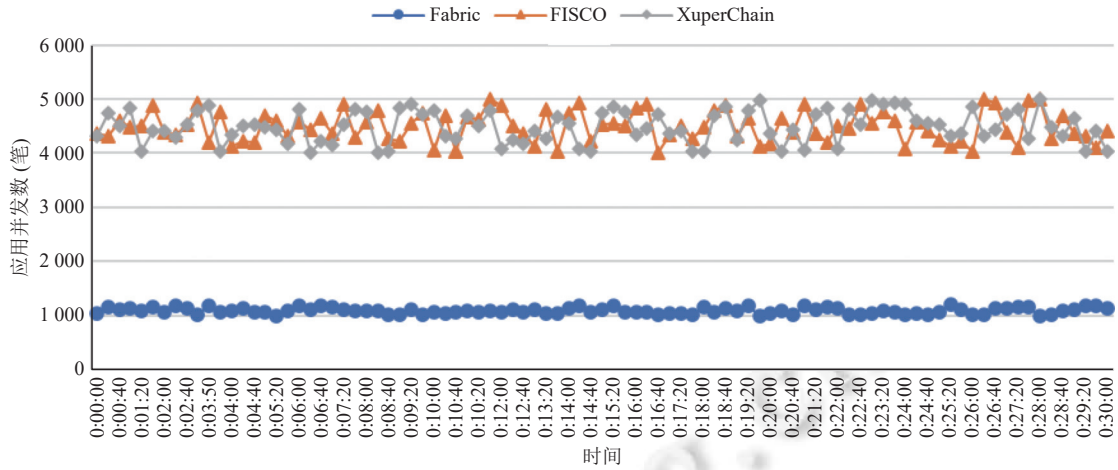


图 5 BSN 应用交易并发测试图

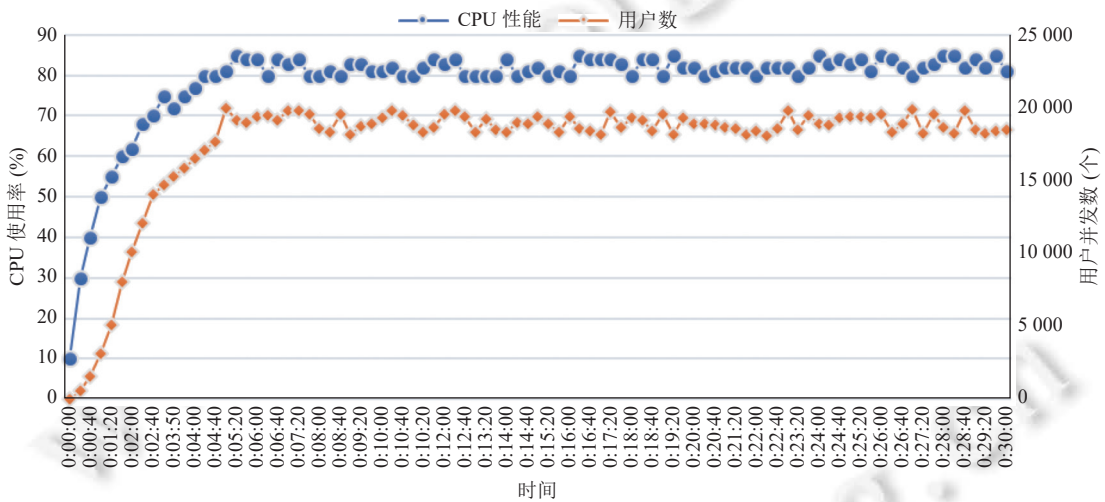


图 6 BSN 门户系统用户并发测试图

### 2.5 应用进展

2019 年 10 月 15 日, BSN 正式发布并启动了国内内部测试. BSN 于 2020 年 4 月 25 日正式商用发布, 催生了公益慈善、物品溯源、电子发票、版权保护、数字资产管理、供应链管理等一批创新应用, 特别是在新冠肺炎疫情防控、助力经济社会高质量发展等方面发挥了积极作用.

BSN 有效助力复工复产管理. 一是助力返岗人员管理, 通过“区块链+电子合同”实现返岗人员的信息录入、在线签署“返岗承诺书”等, 解决中小微企业复工复产过程中文件签署难、异地签署周期长、无法当面签署等问题, 惠及的中小微企业近 1000 家. 二是强化社区人员管理, 浙江移动基于 BSN 推出“出入通”门禁助手, 打造信息化社区登记系统, 有效解决复工人员进入社区忘带出入证件、社区管理是否准确智能等问题, 与政府社区进行合作, 已在全国 374 个县区的 2000 余个小区投入使用. 三是助力重大工程监管, 雄安新区基于 BSN 开发区块链工程监管平台, 有效解决工程行业复工节奏有差异、线下流程受影响等问题, 区块链平台帮助工程行业在线上进行业务的同步和更新, 确保供应链环节的协同和配合.

BSN 有效助力克服中小企业融资难题. 微众银行基于 BSN 搭建区块链存证服务平台, 推动金融业务全流程线上化, 有力支撑了微众银行小微企业贷款服务的开展, 通过调低贷款利率、减免还款利息、提高贷款额度、延

长还款期限等方式,为40余万户小微企业和50余万个人提供金融贷款服务,涉及金额超过180亿元,为复工复产提供坚实的金融保障。基于BSN的供应链信用贷款,通过打通供应链金融各方数据,实现信息流、资金流、物流的集成与交叉验证,惠及的中小微企业近800家。

BSN助力打造数字经济新业态<sup>[21]</sup>。以区块链为支撑的非同质化通证(non-fungible token, NFT)通过数据权益证明提升了用户数据自主权和收益权,有利于打破互联网巨头的的数据垄断,催生通证经济、创作者经济等数字经济新业态。目前,国际上NFT主要依托公有链运行并围绕虚拟货币进行交易流转,难以满足国内监管和应用需求。基于BSN自主构建了专门用来生成、存储和管理分布式数字凭证(distributed digital certificate, DDC)的全国性基础设施平台——BSN-DDC网络,促进我国类NFT应用健康有序发展。截至2022年底,BSN-DDC网络累计注册用户超过1500家企业或平台,交易总数累计超过1.5亿次,日均交易量超过100万笔。2022年6月29日,BSN-DDC网络迎来了一个里程碑时刻:自正式运行以来,第一次单日生产环境应用的日交易数超过国际著名的以太坊(Ethereum)。BSN-DDC网络全天交易数达到974517次,而以太坊全天交易数为938166次<sup>[22]</sup>。BSN-DDC网络促进了数据资产的可信流通,为我国基于NFT创新的数字经济新业态发展提供了有力的基础平台支撑。

### 3 总结与展望

随着我国政策支持和应用需求的不断扩大,区块链技术及其领域应用快速发展,联盟链技术是我国区块链发展和应用的主阵地。本文针对当前区块链发展底层技术平台异构、应用技术门槛高、成链成本大等难题,结合我国云计算资源丰富、范围广、冗余大等特点,提出一种构建区块链底层公用基础设施的构建机制,阐述了区块链服务网络(BSN)的技术架构和具体实现,为降低我国区块链开发、部署、运维、互通和监管成本提供了可行解决方案,将为我国新型智慧城市建设和数字经济发展提供可信可控的公用基础设施和服务载体。

截至2022年底,BSN初步实现了133个国内公共城市节点和8个国际公共城市节点的规模部署,开展了Hyperledger Fabric、FISCO BCOS、国密Fabric、CITA、梧桐链、Brochain、XuperChain等国内外主流区块链底层技术平台适配研究,催生了公益慈善、物品溯源、电子发票、版权保护、数字资产管理、供应链管理等一批创新应用。初步估算,包含4节点的联盟链应用成链成本为每年2500元左右,约为市场价格的1/40,将成为面向全球亿万用户使用的低成本、更便捷的一站式区块链运行环境,有利于区块链技术向工业、企业、政府、行业等领域快速推广和普及。未来将加快BSN与更多区块链底层技术平台适配进程,推动开源社区建设,组织开发者大赛,进一步打造适应区块链技术和产业发展的生态环境。

#### References:

- [1] Nakamoto S. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. White Paper, 2008.
- [2] Yuan Y, Wang FY. Blockchain: The state of the art and future trends. Acta Automatica Sinica, 2016, 42(4): 481–494 (in Chinese with English abstract). [doi: 10.16383/j.aas.2016.c160158]
- [3] Xinhuanet. 2019 (in Chinese). [http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2019-10/25/c\\_1125153665.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2019-10/25/c_1125153665.htm)
- [4] Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action of Germany: Blockchain Strategy of the Federal Government. 2019. [https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Digitale-Welt/blockchain-strategy.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Digitale-Welt/blockchain-strategy.pdf?__blob=publicationFile&v=1)
- [5] Technical report by the UK government chief scientific adviser. 2016. [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/492972/gs-16-1-distributed-ledger-technology.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/492972/gs-16-1-distributed-ledger-technology.pdf)
- [6] Si XM, Chen WG. Preface to special topic on blockchain and digital currency technology. Ruan Jian Xue Bao/Journal of Software, 2019, 30(6): 1575–1576 (in Chinese). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/5747.htm> [doi: 10.13328/j.cnki.jos.005747]
- [7] Buterin V. On public and private blockchains. 2015. <https://blog.ethereum.org/2015/08/07/on-public-and-private-blockchains>
- [8] King S, Nadal S. PPCoin: Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake. 2012. <https://people.cs.georgetown.edu/~clay/classes/fall2017/835/papers/peercoin-paper.pdf>
- [9] Buterin V. A next generation smart contract and decentralized application platform. White Paper, 2014.
- [10] Blockchain-based service network (BSN) development alliance. Blockchain-based service network (BSN) introductory white paper (V1.05). 2020 (in Chinese). <https://bsnbase.com/p/main/serviceNetworkDesc?type=WhiteBook>

- [11] <https://github.com/hyperledger/fabric>
- [12] Shao QF, Zhang Z, Zhu YC, Zhou AY. Survey of enterprise blockchains. Ruan Jian Xue Bao/Journal of Software, 2019, 30(9): 2571–2592 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/5775.htm> [doi: 10.13328/j.cnki.jos.005775]
- [13] JPMorgan Chase & Co. Quorum whitepaper. White Paper, 2016.
- [14] Brown RG, Carlyle J, Grigg I, Hearn M. Corda: An introduction. White Paper, 2016.
- [15] <https://github.com/FISCO-BCOS>
- [16] [http://cita.readthedocs.io/zh\\_CN/latest/features.html](http://cita.readthedocs.io/zh_CN/latest/features.html)
- [17] Suzhou Tongji blockchain research institute: Wutong chain technology and application white paper. 2018 (in Chinese).
- [18] Hangzhou blockchain Technology Research Institute of China Banknote Credit Card Industry Development Co. Ltd. White paper on Blockchain Technology of Brochain(V1.0). 2019 (in Chinese).
- [19] <https://github.com/xuperchain>
- [20] Li F, Li ZR, Zhao H. Research on the progress in cross-chain technology of blockchains. Ruan Jian Xue Bao/Journal of Software, 2019, 30(6): 1649–1660 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/5741.htm> [doi: 10.13328/j.cnki.jos.005741]
- [21] Blockchain-based Service Network Development Alliance. Blockchain-based service network (BSN) development report (2022) (in Chinese). <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1758422669814097071&wfr=spider&for=pc>
- [22] Su ZH. 2023 (in Chinese). <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1753969089110477944&wfr=spider&for=pc>

#### 附中文参考文献:

- [2] 袁勇, 王飞跃. 区块链技术发展现状与展望. 自动化学报, 2016, 42(4): 481–494. [doi: 10.16383/j.aas.2016.c160158]
- [3] 新华网. 2019. [http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2019-10/25/c\\_1125153665.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2019-10/25/c_1125153665.htm)
- [6] 斯雪明, 陈文光. 区块链与数字货币技术专题前言. 软件学报, 2019, 30(6): 1575–1576. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/5747.htm> [doi: 10.13328/j.cnki.jos.005747]
- [10] 区块链服务网络发展联盟. 区块链服务网络基础白皮书(V1.05). 2020. <https://bsnbase.com/p/main/serviceNetworkDesc?type=WhiteBook>
- [12] 邵奇峰, 张召, 朱燕超, 周傲英. 企业级区块链技术综述. 软件学报, 2019, 30(9): 2571–2592. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/5775.htm> [doi: 10.13328/j.cnki.jos.005775]
- [17] 苏州同济区块链研究院. 梧桐链技术与应用白皮书. 2018.
- [18] 中钞信用卡产业发展有限公司杭州区块链技术研究院. Brochain 区块链技术白皮书(V1.0). 2019.
- [20] 李芳, 李卓然, 赵赫. 区块链跨链技术进展研究. 软件学报, 2019, 30(6): 1649–1660. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/5741.htm> [doi: 10.13328/j.cnki.jos.005741]
- [21] 区块链服务网络发展联盟. 区块链服务网络(BSN)发展报告(2022年). <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1758422669814097071&wfr=spider&for=pc>
- [22] 苏子华. 2023. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1753969089110477944&wfr=spider&for=pc>



单志广(1974—), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, CCF 杰出会员, 主要研究领域为计算机网络, 智慧城市, 区块链, 数字经济, 大数据.



谭敏(1968—), 女, 高级经济师, 主要研究领域为云计算, 算力中心, 区块链.



张延强(1982—), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究领域为智慧城市, 区块链, 人工智能.



何亦凡(1976—), 男, 高级工程师, 主要研究领域为计算机网络, 加密技术, 通信传输, 分布式计算.