

学校代码: 10246
学 号: 17212040263

復旦大學

硕 士 学 位 论 文
(专业学位)

基于状态反馈负载均衡策略的区块链服务平台设计
与实现

**A Design and implementation of blockchain service platform based
on state feedback load balancing strategy**

院 系: 计算机学院
专业学位类别(领域): 计算机技术
姓 名: 赵晓峰
指 导 教 师: 卢 瞰 副教授
完 成 日 期: 年 月 日

指导小组成员名单

顾 宁	教 授
张 亮	教 授
卢 瞰	副教授
丁向华	副教授

目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
第一章 绪论	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 国内外研究现状.....	2
1.3 主要工作和创新点.....	4
1.4 篇章结构.....	4
第二章 相关工作及技术背景	6
2.1 区块链技术.....	6
2.1.1 区块链中的交易.....	6
2.1.2 以太坊系统.....	7
2.2 容器化技术.....	7
2.2.1 容器与虚拟机.....	7
2.2.2 Docker.....	8
2.3 微服务架构.....	9
2.3.1 微服务应用架构.....	9
2.3.2 微服务解决方案.....	10
2.4 负载均衡技术.....	11
2.5 小结.....	11
第三章 基于微服务的以太坊服务系统架构设计.....	12
3.1 区块链技术在私募股权场景应用分析.....	12
3.2 基于状态空间的反馈负载均衡策略.....	12
3.3 基于负载均衡的区块链服务系统设计.....	12
3.3.1 系统设计目标及原则.....	12
3.3.2 系统的整体架构.....	12
3.4 本章小结.....	12
第四章 基于负载均衡的区块链服务系统实现	12
4.1 系统的业务组件.....	13
4.1.1 写操作服务.....	13
4.1.2 读操作服务.....	13
4.2 系统功能组件.....	13
4.2.1 服务注册中心.....	13
4.2.2 API 网关	13
4.2.3 熔断保护.....	13

4.3	区块链服务平台.....	13
4.4	负载均衡器.....	13
4.5	本章小结.....	13
第五章	实验与分析	14
5.1	系统功能评估.....	14
5.2	系统性能评估.....	14
5.2.1	相关架构与算法.....	14
5.2.2	实验数据.....	14
5.2.3	评估指标.....	14
5.2.4	实验结果.....	14
5.3	本章小结.....	14
第六章	总结与展望	15
6.1	工作总结.....	15
6.2	工作展望.....	15
参考文献.....		16
致 谢.....		18

摘 要

Xxxx....

关键词：

中图分类号： TP311

Abstract

xxx

Keywords: xxx; xxx;

Class Number: TP311

第一章 绪论

1.1 研究背景

私募股权(Private Equity) 由美国投资家本杰明格雷厄姆创立,是一种非上市企业或单位进行的非公开项目招募活动[1], 此类招募活动不限于资金募集、项目招标等。私募股权源于金融领域, 首先被用于面向特定对象释放企业私有股权以达到募集资金的作用。私募股权市场广大, 据二八定律知 20%的人持有 80%的社会财富, 而 20%的人持有的财富中, 有 80%属于私募产品。随着经济与时代的发展, 私募股权的范围越来越广, 私募股权所募集的目标不再局限于资金, 劳动力、资源、技术等等均成为募集对象。在私募股权活动中, 一般涉及需求发布方与需求投标方。需求发布方公开部分信息用于招募需求投标方, 投标方团队通过发布方公布的有限项目信息评估判断是否进行投标以及后续合作。在发布方与投标方的后续合作中, 双方就合作项目详细信息进行相互之间的沟通。私募股权活动针对的是特定的对象, 且需求发布方需要在保证项目隐私性的情况下公布部分关键信息以招募需求投标方, 因此构建私募股权交易平台以保证合作方的信息交流以及招募方发布的信息隐私性变得尤为重要[2]。同时, 为保证交易平台权益, 需要考虑投资方与项目实施方在交易过程中不能越过平台实施合作。

私募股权平台是面向私募股权活动的中间交易平台, 用户可以发布需求信息或者对特定需求进行投标。该平台极大得降低了私募股权活动中合作方的交易难度, 同时由于平台的监管提高了合作方之间的信任度。私募股权平台的构建需要考虑用户隐私、用户发布的项目的信息安全性、用户之间股权活动交易等方面问题。同时, 由于私募股权项目需求等信息的价值很高, 私募股权平台需要考虑自身的权益问题, 即不能使用户可以在利用平台提供的信息后越过平台直接进行合作。基于以上问题考虑, 采用区块链技术作为底层技术。

区块链(BlockChain)技术是一种集合加密、分布式存储、共识机制和智能合约等技术的去中心化分布式账本技术。它是由中本聪于 2008 年提出的革命性技术, 基于其去中心化特点构建了一套名为“比特币”的数字交易体系[3]。近年来, 包括比特币、以太坊等在内电子货币得到了巨大的发展[4]。区块链技术的应用不仅仅局限于币圈, 自 20 年以太坊诞生, 大量区块链应用在金融、版权保护、电子货币等领域应用生态逐渐建立, 如今, 多家相关应用和企业蓬勃发展[4]。其特有的去中心化特性极大的改变了原有的第三方信任体系, 使得人们的信任机制得到了颠覆性的改变。区块链的优势了去中心化和可信任, 交易双方在没有第三方的情况下进行交易, 且交易信息可以永久保存[3]。当前的区块链技术应用

主要基于第三方平台如以太坊、超级账本等构建，开发者构建应用后通过官方提供的客户端接入网络，并参与数据校验、数据打包等链上活动。

综合上述需求，本文提出了一个面向私募股权的区块链服务系统。该系统融合容器化技术、微服务思想以及云计算领域中的负载均衡模型，不仅极大的提高了区块链技术作为底层技术的稳定性、安全性和并发性能保障，同时使得区块链技术的应用更加便利和灵活。该服务系统中的业务设计是面向私募股权领域，基于区块链的智能合约设计代币作为平台通用的股权激励，将项目需求信息打包永久性存储到区块链中。同时，通过事件记录区块链网络中的交易过程。该系统的应用架构采用微服务应用架构，根据区块链读写数据特点构建相应的服务提供者。底层区块链节点与单个的服务均运行于容器中，提高系统的整体可靠性和系统的延展性。在底层区块链服务平台与后台服务之间，设计和应用基于状态反馈的负载均衡策略，提高系统的并发性能。

1.2 国内外研究现状

由于私募股权交易可理解为电子信息交易的一种，因此其涉及第三方信任机制[1]。即交易双方互不信任，但由于共同信任第三方，因此他们之间依然可以完成交易。因此，在私募股权交易中，构建第三方交易平台非常重要。然而，第三方信任机制过于依赖第三方，当对平台信任度不够的情况下，交易便无法顺利完成。区块链技术的去中心化机制解决了第三方信任机制问题，信任机制由简单的第三方证明转移到工作量证明 PoW(Proof of work)、股东权益证明 PoS(Proof of States)等[2]。等人在构建私募股权交易平台的过程中引入了区块链技术[3][4]。

目前，区块链技术在构建交易平台中的应用方法，主要采用接入区块链服务平台如以太坊(Ethereum)、超级账本(Hyperledger)等[5]。众多区块链应用(DApp, Distribution Application)依托于上述平台落地实施，形成了相应的区块链生态。以太坊是由 Vitalik Buteri 于 2013 年 12 月提出的可编程区块链，该平台除了可基于内置的以太币(ether)实现数字货币交易，还提供了图灵完备的编程语 Solidity 以便赐额智能合约，首次在区块链领域提出了智能合约的概念[6]。超级账本是由 Linux 基金会于 2015 年 12 月发起的开源区块链项目，其目的在于发展跨行业的区块链平台[7]。区块链平台有公有链、私有链和联盟链三种，对于公有链，节点可自由上链和下链；对于私有链，节点必须在经过授权后才能上链；联盟链的节点一般对应实体机构，各机构组成利益联盟。Ethereum 设计之初面向公有链，但在 Ethereum2.0 中同时加入了私有链模式，可以通过简单的设置选择私有链和公有链。但以太坊依然是公有链中应用最广泛平台，Quorum、Monax、DFINITY 等应用或平台均基于以太坊构建。超级账本则在联盟链中应用广泛，其成员已包

括 IBM、Intel、J.P.Morgan、SWIFT 等 130 多名成员[5]。而以太坊的扩展性非常差，因此本文考虑引入微服务和容器等技术对以太坊的应用方式加以改进。

微服务技术自 2010 年开始兴起的分布式应用架构技术，该技术结合容器化技术在敏捷开发、自动化运维等领域应用广泛，其各个服务独立开发部署的架构优点不仅可以提高项目开发效率，同时可以提高系统的扩展性和运行稳定性[7][8]。微服务技术在应用开发领域取得了巨大的成功，J Lawson 等人提出了一种基于微服务的通信系统[9]；A Balalaie 的研究说明微服务技术可实现自动化运维且是一种原生的云服务架构[10]。而微服务技术往往与容器化技术结合使用，J Stubbs 等人提出了一种使用 Docker 容器的分布式系统架构[11]，M Amaral 评估了结合容器技术的微服务架构的表现，认为微服务结合容器技术能发挥其最大的性能优势[12]。容器化技术是一种虚拟服务器技术，其特点是轻量-仅拥有系统运行最基本的组件、安全-容器具有沙盒机制等特点[13]，使用最广泛的容器是 Docker[14]。Docker 是微服务中各个组件运行的基础环境，而微服务中各个组件之间的调用需要考虑云计算领域的负载均衡技术[15]。本文根据 Ethereum 的 Geth 客户端在 Docker 中运行的特点设计合理的负载均衡机制，使得系统的整体负载效果达到最大。

负载均衡发展历史悠久，有非常多经典的负载均衡算法如加权、轮询、最少连接等[16]。该类负载均衡最大的缺陷在于忽略了服务节点的特点以及当前状态。采用了将任务流进行分组，并且考虑对其进行优先级划分的方式得到了较高的负载效率[17]。负载均衡的目标在于使得系统稳定且资源消耗最少得情况下得到最少得任务完成时间[18]。等人提出的相空分析方法首先建立以服务器参数为坐标轴的相位空间，然后将服务节点参数归一化投射到该相位空间中[19]。等人提出了基于相位空间的负载均衡方法，充分考虑了节点的状态进行负载和调度[20]。

综上所述，区块链技术中以太坊可定制智能合约，同时设置公链与私链，适合基于其建立企业化应用。但同时，以太坊通过官方客户端 Geth 向外提供接口的方式导致其在构建应用过程中部署麻烦且不易扩展。微服务是一种应用成功的高可用分布式架构，结合私募股权相关业务特点定制特定的以太坊微服务系统。该服务系统中对服务节点的调用采用负载均衡算法，使服务系统的负载效率达到最高。目前，对于云计算领域的负载均衡算法，文献[19]提出了节点相位空间法调度，该方法考虑服务节点的 CPU 占用率、内存占用率等因素进行负载，达到了非常好的调度效果，但是该方法未考虑服务节点的业务特性。本文将根据私募股权相关业务进行对服务节点进行设计，并根据以太坊在 Docker 中的运行特定设计负反馈负载均衡算法并应用到上述以太坊微服务系统中，最后将该服务系统应用到私募股权业务场景中检验其可用性以及稳定性、扩展性和并发性等性能。

1.3 主要工作和创新点

本文主要工作是分析了构建私募股权交易平台面临的困难,提出了以区块链技术为底层核心技术的解决方案,结合私募股权领域的业务特点以及区块链技术的优点,实现了面向私募股权的区块链服务系统。在设计和实现系统的过程中,本文充分考虑区块链技术的特点和局限性,通过优化系统架构,以及设计适合本系统的基于状态的反馈负载均衡策略,提高系统的可靠性、安全性和延展性,并通过性能对比实验对系统进行了评估和验证。

结合私募股权相关业务特点与区块链技术自身特性,本文基于微服务思想对相关业务进行分类封装,并运行于容器中,同时设计高效的反馈负载均衡策略。最后本文实现了区块链服务系统,并通过实验验证了系统的可用性、可靠性等高性能。本文研究的主要工作有以下几点:

1. 提出一种基于微服务思想的面向私募股权的区块链服务平台设计方案。根据业务特点和技术特点设计灵活的应用架构,可以在资源耗费最小的情况下满足业务要求,同时在需要的时刻快速进行系统延展。

2. 基于以太坊(Ethereum)自身特点提出了一种状态反馈负载均衡策略,该策略考虑区块链节点运行状态建立状态空间,对状态空间中的节点进行负载分配实现系统的可靠性和高性能。并将该负载均衡策略应用于基于容器化技术思想构建了一种灵活的底层区块链服务平台。该平台将以太坊客户端运行于容器中作为单一节点,结合负载均衡策略实现可靠性和高性能。

3. 实现了面向私募股权的区块链服务系统,包括账户管理、转账管理和合约发布等业务功能,以及状态监控、网关管理等后台模块功能。结合区块链的智能合约等技术特点实现了私募股权交易自动化结算与科学管理功能。

1.4 篇章结构

本文将围绕面向私募股权的区块链服务系统设计与性能优化等方面的研究与实现安排六个章节展开介绍。

第一章,绪论。本章介绍本文的研究背景、研究目的与意义,简要介绍了私募股权相关背景和区块链技术应用现状,并简述了本文的主要工作与创新点。

第二章,相关工作与技术背景。本章主要介绍本文提出的区块链服务系统涉及的相关技术,从区块链技术、容器技术、负载均衡技术和以微服务架构为主的分布式应用技术四方面介绍。

第三章,基于微服务的区块链服务系统架构设计与负反馈负载均衡策略的设计。本章详细描述了区块链服务系统的架构设计与实现过程,包括底层的以太坊

服务平台与微服务架构中各个模块的实现。本章还描述了负载均衡策略的设计，包括任务流的设计，需要负载调度算法等。

第四章，基于状态反馈的负载均衡组件的设计与实现。本章描述了对....的监控与实现。

第五章，面向私募股权的区块链服务系统的实现与性能评估，本章介绍了面向私募股权的区块链服务系统的实现，并设计实验对系统进行了性能检测与分析。

第六章，总结与展望。本章总结本文总体的研究内容和方法与技术的局限性展望未来工作，并对下一步工作做出规划。

第二章 相关工作及技术背景

2.1 区块链技术

区块链技术是中本聪在 2008 年发布的比特币系统白皮书《比特币:一种点对点的数字货币系统》中提出的底层核心技术,是一种结合了分布式存储,一致性共识和密码学等多方面知识的应用技术[1]。区块链最大的特点在于实现了摆脱第三方信任机制的交易系统,在该系统中交易的确认由所有节点共同参与完成,数据采用分布式存储方式,存储到区块中。区块与区块相互链接形成区块链。

2.1.1 区块链中的交易

区块链中的交易的生成是由用代币的拥有者基于私钥对该代币的上一次交易以及本次交易的接受方签署数字签名。该数字签名被附加在代币的末尾形成交易单,然后被广播到区块链网络中的其他节点。在网络中的节点收到交易清单后会开始对该交易进行验证,以 PoW(Proof of Work)为例,节点进行开始被称为挖矿的复杂 hash 运算操作,首先完成交易验证工作的节点将所有的交易进行打包并广播给其他节点。当网络中的其他节点收到该区块后验证其时间戳以及交易是否有效,在确认签章有效以及没有重复花费后再将区块上链,此后数据无法更改。综上所述,在区块链网络中,一个交易的完成过程包括交易的发出、数字签名的广播、共识算法验证交易的正确性、打包区块、验证区块链和上链六个步骤。区块的结构如图 2.1 所示,其中最重要的信息包括前一个区块链的哈希指针和本区块的哈希值、时间戳、完成本区块打包工作的节点(Miner)的账户等信息。图 2.2 为某区块的实际示例。

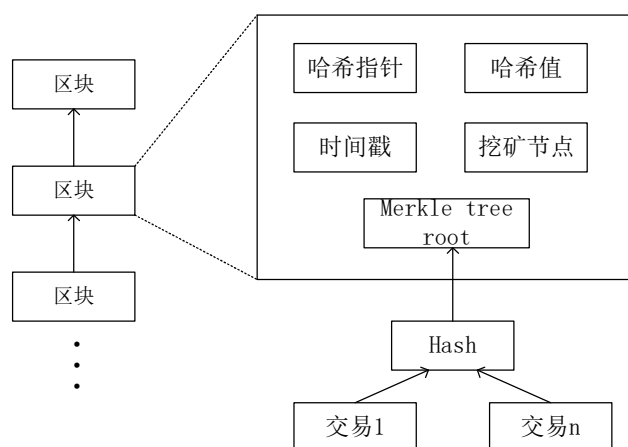


图 2.1 区块结构

2.1.2 以太坊系统

以太坊系统是一种无需中央管理和协调机制的分布式系统,该系统可以运行智能合约和小型应用,其创造者的初衷是开发一套可以自治的“世界计算机”。它在比特币的基础上更进一步,不仅可以在全网节点上验证和存储交易数据,还可以在全网所有节点中运行智能合约代码,节点使用 EVM(Ethereum Virtual Machine)运行智能合约。以太坊同时具有分布式数据存储和计算的能力。

以太坊的使用是通过以太坊客户端(Ethereum client, Geth)实现,用户通过以太坊客户端连接以太坊网络中的其他节点,并参与区块同步、挖矿、交易验证的工作。以太坊上的所有节点地位相同,同时没有中心协同和管理节点。在成为以太坊节点后可以连接以太坊网络、查看以太坊区块链、发布交易和智能合约、运行智能合约以及挖矿等工作。

智能合约是以太坊提供的可以运行在 EVM(Ethereum Virtual Machine)中的图灵完备语言。相对于比特币的原始脚本语言,它更高级,同时其图灵完备性意味着它可以被用来实现任何功能或者执行任何计算。通常,智能合约在 Dapp(Distributed Application)中被用于定制化代币或交易等操作。

2.2 容器化技术

2.2.1 容器与虚拟机

虚拟机(Virtual Machine)和容器(Docker)均是目前云计算平台常用的虚拟化技术,虚拟机技术发展成熟,而容器技术做为新一代的虚拟化技术代表了未来虚拟技术的发展方向。如图 2.3 所示位虚拟即与容器的架构图,相对于容器而言,每个虚拟机都有一个独立的 Kernel 中间件用于连接操作系统(OS)和硬件(Hardware),该客户机操作系统会占用大量的硬件资源并安装大量依赖。由于虚拟机包含一整套操作系统,因此占用大量空间,同时启动缓慢。而容器则是对应用层的抽象,多个容器共享操作系统内核 Kernel,并各自作为独立的进程运行于用户空间,因此占用空间更小,启动更快。

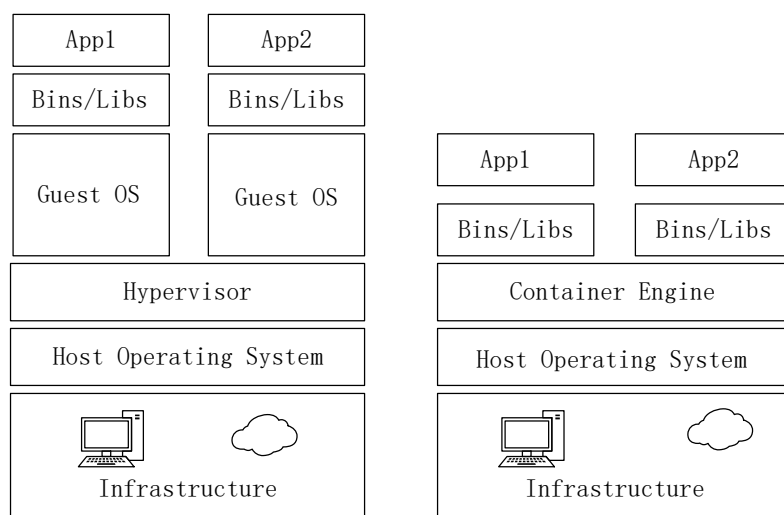


图 2.2 容器与虚拟机对比图

相对于虚拟机，使用容器可以降低硬件成本，一台虚拟机上可以运行成百上千个相互隔离的容器。其轻便性使得应用在开发和部署过程中更加快速和简便。容器技术在微服务技术中应用广泛，其分层存储以及镜像技术使得复用更加容易，更轻松的维护和扩展使其在微服务架构的发挥出最大的优势。

2.2.2 Docker

Docker 在容器的基础上，进行了进一步的封装，从文件系统、网络互联到进程隔离等等，极大的简化了容器的创建和维护。如图 2.3 所示，Docker 引擎是一个包含以下主要组件的客户端服务器应用程序。其中，Server Docker Daemon 是守护进程，该进程长期运行；REST API 是指定程序与守护进程通信的接口；CLI 是命令行工具，提供镜像、容器、网络和容器数据卷的管理功能。

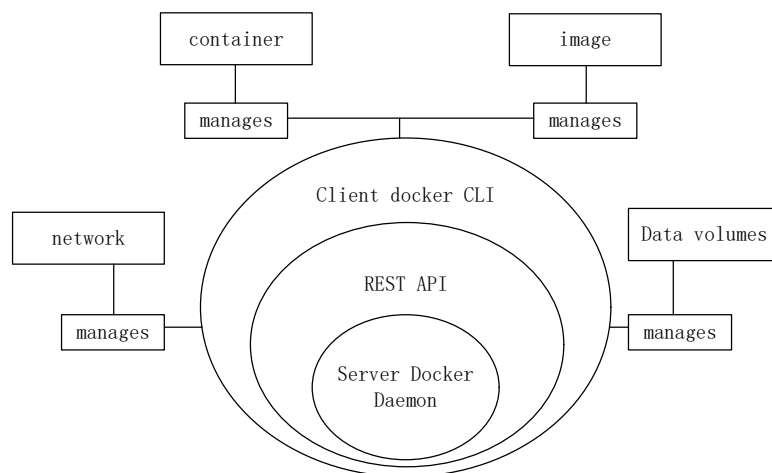


图 2.3 Docker 架构图

Docker 的运行示意图如图 2.4 所示。Docker 使用客户端-服务器 (C/S) 架构

模式，使用远程 API 来管理和创建 Docker 容器。Docker 容器通过 Docker 镜像来创建。容器与镜像的关系类似于面向对象编程中的对象与类。Registry 是镜像统一管理中心，客户端通过 `docker pull` 命令拉取镜像到 Docker 宿主机，并通过 `docker run` 命令基于镜像创建容器。同时，用户可根据需求通过 `docker build` 命令定制镜像并上传到镜像仓库 Registry 中。

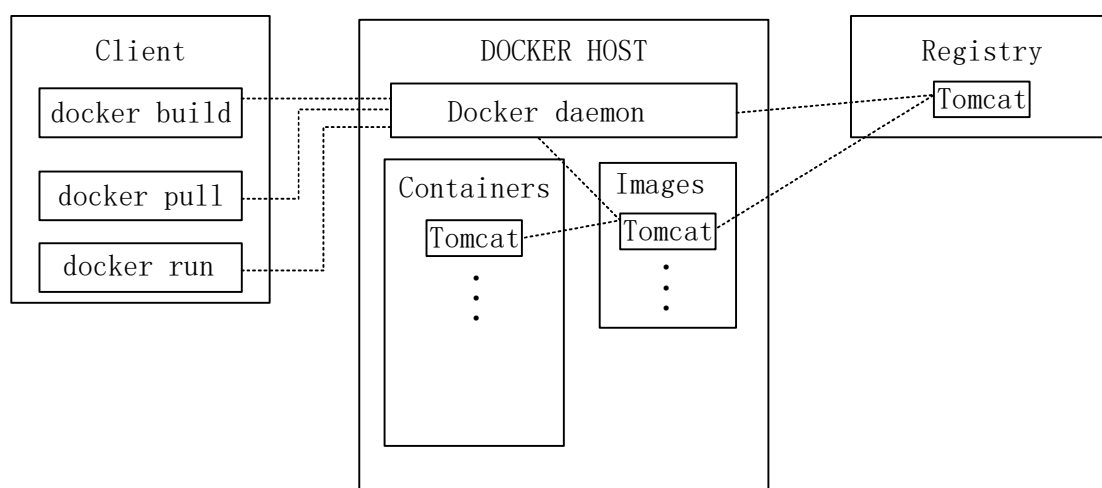


图 2.4 Docker 运行示意图

2.3 微服务架构

2.3.1 微服务应用架构

微服务架构是一种架构概念，旨在通过将功能分解到各个离散的服务中以实现解决方案的解耦。它的主要作用是将功能分解到离散的几个服务当中，从而降低系统的耦合性，并提供更加灵活的服务支持。围绕业务领域组件来创建微型应用，这些应用可独立地进行开发、管理和迭代。在分散的组件中使用云架构和平台式部署、管理和服务功能，使产品交付变得更加简单。

微服务架构与传统的单体应用架构相比开发效率更高，减少了开发中的相互等待和冲突；维护更简单，代码耦合度极大的降低使得微型应用更加简单；更加灵活，构建时间更短；稳定性增强，不会因为一个小问题导致整个系统崩溃；扩展性增强，可以根据需求，对特定的功能组件进行扩展以提高系统的并发性。但是因为微服务架构是分布式架构，因此存在分布式的管理和调用消耗。

根据微服务的官方定义，微服务是一系列独立的服务共同组成的系统。每个独立的服务单独部署，并且相互隔离运行在自己的进程中。系统中每个服务为独立的业务开发，在运行中采用分布式管理。微服务系统强调强服务个体和弱通信，其高度容错性使得其在自动化运维和敏捷开发中得到了广泛应用。

2.3.2 微服务解决方案

微服务架构的具体实践中需要解决四个问题，首先是客户端如何访问服务，对此一般采用在服务 and UI 之间设置名为 **API Gateway** 的代理机构，由该机构提供服务的统一入口，聚合后台服务，节省访问流量并提供过滤、流量控制等 **API** 管理功能；其次是服务间的通信方式，服务之间的调用分为同步调用和异步调用，同步调用一致性强，但性能较差，如 **REST API** 的方式基于 **HTTP** 实现，在调用的过程中会有大量的多余通信消耗。异步调用往往通过消息队列实现，此方式在分布式系统中应用广泛，它既能降低系统耦合，又能实现调用的缓冲，有效的防止了系统因流量过大而崩溃的情况，不过异步调用也会导致一致性的减弱。第三个问题是服务的实现，即服务如何管理，服务之间如何管理。一般有两类做法，基于客户端的服务注册与发现和基于服务端的服务注册与发现如图 2.5 所示。当服务上线时，服务提供者将自己的服务信息注册到 **ZK**（或类似框架），并通过心跳维持长链接，实时更新链接信息。服务调用者通过 **ZK** 寻址，根据可定制算法，找到一个服务，还可以将服务信息缓存在本地以提高性能。当服务下线时，**ZK** 会发通知给服务客户端。最后一个问题是当服务崩溃时如何处理，对于此问题一般有重试、限流、熔断、负载均衡等方式处理。其中设计合适的负载均衡算法不仅可以应对服务崩溃，可以提高系统的并发性能。

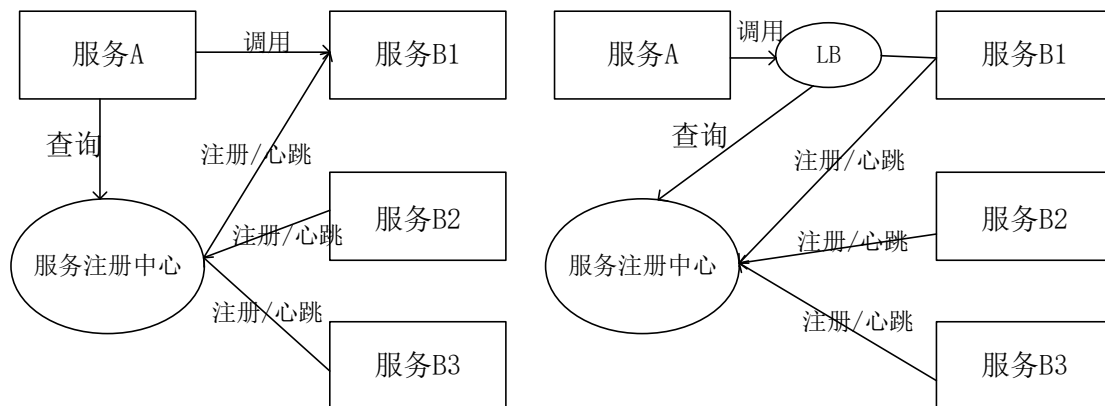


图 2.5 服务管理方式

微服务解决方案众多，其中由阿里巴巴开源的组件和云产品组成的 **Spring Cloud Alibaba** 尤其突出。2018 年 10 月 31 日，这个伟大的日子里，**Spring Cloud Alibaba** 正式入驻了 **Spring Cloud** 官方孵化器，并在 **Maven** 中央库发布了第一个版本。**Spring Cloud Alibaba** 致力于提供微服务开发的一站式解决方案。此项目包含开发分布式应用微服务的必需组件，方便开发者通过 **Spring Cloud** 编程模型轻松使用这些组件来开发分布式应用服务。该解决方案提供了一系列组件来解决以上提到的微服务应用遇到的四个问题。

Sentinel: 把流量作为切入点，从流量控制、熔断降级、系统负载保护等多个维度保护服务的稳定性。

Nacos: 一个更易于构建云原生应用的动态服务发现、配置管理和服务管理

平台。

RocketMQ: 一款开源的分布式消息系统，基于高可用分布式集群技术，提供低延时的、高可靠的消息发布与订阅服务。

Alibaba Cloud ACM: 一款在分布式架构环境中对应用配置进行集中管理和推送的应用配置中心产品。

Alibaba Cloud OSS: 阿里云对象存储服务(Object Storage Service, 简称 OSS)，是阿里云提供的海量、安全、低成本、高可靠的云存储服务。您可以在任何应用、任何时间、任何地点存储和访问任意类型的数据。

Alibaba Cloud SchedulerX: 阿里中间件团队开发的一款分布式任务调度产品，提供秒级、精准、高可靠、高可用的定时（基于 Cron 表达式）任务调度服务。

2.4 负载均衡技术

在微服务等分布式应用架构中，为提高系统的可靠性、容错性和并发性，往往存在多种相同的服务节点共同对外提供服务。任务在这些服务节点中的分配方式，即为负载均衡技术。负载均衡策略包含任务负载任务的划分方式、任务的调度以及服务节点的架构等方面，其目的在于减少总的任务完成时间，提高服务资源的利用率以及保证良好的系统负载均衡度。经典的负载均衡策略包括轮询、加权、最少连接等，此类负载均衡算法最大的问题在于未考虑到服务节点的状态。在云计算领域，状态反馈负载均衡算法充分考虑服务节点的状态，根据节点状态以及任务类型进行负载分配，可以实现更好的负载效果。

状态反馈负载均衡策略的设计包含四个方面，首先是负载均衡依据，其次是任务调度模型，第三是构建任务优先级模型，最后设计任务分配模型。

在负载均衡依据中，选取对服务节点状态影响较大的参数如内存占用率、CPU 占用率的归一化建立服务节点状态空间，然后将服务节点的状态向量投射到该状态空间中。若服务节点在状态空间中的位置距离原点较近，说明其资源消耗度较小；如果位置距离原点较远，则说明该服务节点的资源消耗度较高，处于资源占用状态。

2.5 小结

本章节首先介绍了区块链的交易过程和区块链结构，然后介绍了区块链应用平台 Ethereum。本章第二小结对比虚拟机技术介绍了容器化技术，并介绍了 Docker 的架构以及流程架构。本章第三小结对比单体应用架构介绍了微服务架构的实践以及解决方案 Spring Cloud Alibaba。在本章第四小结，介绍了基于反馈的负载均衡调度模型，使用公式和推理介绍了该类负载策略的工作原理和过程。

第三章 基于微服务的以太坊服务系统架构设计

3.1 区块链技术在私募股权场景应用分析

3.2 基于状态空间的反馈负载均衡策略

3.3 基于负载均衡的区块链服务系统设计

3.3.1 系统设计目标及原则

3.3.2 系统的整体架构

3.4 本章小结

第四章 基于负载均衡的区块链服务系统实现

4.1 系统的业务组件

4.1.1 写操作服务

4.1.2 读操作服务

4.2 系统功能组件

4.2.1 服务注册中心

4.2.2 API 网关

4.2.3 熔断保护

4.3 区块链服务平台

4.4 负载均衡器

4.5 本章小结

第五章 实验与分析

本章的主要内容是介绍和分析本文设计实现的系统工具实验结果，先从面向用户的角度介绍和分析工具使用的性能结果，再基于案例分析，验证和分析系统工具的各模块实验结果，最后总结了该方法的局限性。

5.1 系统功能评估

5.2 系统性能评估

5.2.1 相关架构与算法

5.2.2 实验数据

5.2.3 评估指标

5.2.4 实验结果

5.3 本章小结

第六章 总结与展望

6.1 工作总结

6.2 工作展望

参考文献

- [1] Nadauld T D, Sensoy B A, Vorkink K, et al. The liquidity cost of private equity investments: Evidence from secondary market transactions[J]. Journal of Financial Economics, 2019, 132(3): 158-181.
- [2] Antoni M, Maug E, Obernberger S. Private equity and human capital risk[J]. Journal of Financial Economics, 2019.
- [3] Nakamoto S. Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system, October 2008[J]. Cited on, 2019: 53.
- [4] Zheng Z, Xie S, Dai H N, et al. Blockchain challenges and opportunities: A survey[J]. International Journal of Web and Grid Services, 2018, 14(4): 352-375.
- [5] Cao C, Yan J, Li M X. How to Understand the Role of Trusted Third Party in the Process of Establishing Trust for E-Commerce?[J]. 2019.
- [6] Sherman A T, Javani F, Zhang H, et al. On the origins and variations of blockchain technologies[J]. IEEE Security & Privacy, 2019, 17(1): 72-77.
- [7] 魏生, 戴科冕. 基于区块链技术的私募股权众筹平台变革及展望[J]. 广东工业大学学报, 2019, 36(02): 37-46.
- [8] 安立. 区块链在私募股权交易领域的应用[J]. 上海金融学院学报, 2017 (2017 年 02): 47-51.
- [9] 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.
- [10] Buterin V. A next-generation smart contract and decentralized application platform. White Paper, 2014.
- [11] Namiot D, Sneps-Snepp M. On micro-services architecture[J]. International Journal of Open Information Technologies, 2014, 2(9): 24-27.
- [12] Dragoni N, Giallorenzo S, Lafuente A L, et al. Microservices: yesterday, today, and tomorrow[M]//Present and ulterior software engineering. Springer, Cham, 2017: 195-216.
- [13] Lawson J, Wolthius J. System and method for providing a micro-services communication platform: U.S. Patent 9,363,301[P]. 2016-6-7.
- [14] Balalaie A, Heydarnoori A, Jamshidi P. Microservices architecture enables devops: Migration to a cloud-native architecture[J]. Ieee Software, 2016, 33(3): 42-52.
- [15] Stubbs J, Moreira W, Dooley R. Distributed systems of microservices using docker and serfnode[C]//2015 7th International Workshop on Science Gateways.

- IEEE, 2015: 34-39.
- [16] Amaral M, Polo J, Carrera D, et al. Performance evaluation of microservices architectures using containers[C]//2015 IEEE 14th International Symposium on Network Computing and Applications. IEEE, 2015: 27-34.
- [17] Bui T. Analysis of docker security[J]. arXiv preprint arXiv:1501.02967, 2015.
- [18] Anderson C. Docker [software engineering][J]. IEEE Software, 2015, 32(3): 102-c3.
- [19] Peng H, Han W, Yao J, et al. The Realization of Load Balancing Algorithm in Cloud Computing[C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science and Application Engineering. ACM, 2018: 140.
- [20] Revah Y, Melman D, Mizrahi T, et al. Method and apparatus for load balancing in network switches: U.S. Patent 9,876,719[P]. 2018-1-23.
- [21] Sharma M, Kini S, Tuli S A, et al. Adaptive load balancing for single active redundancy using EVPN designated forwarder election: U.S. Patent Application 10/050,809[P]. 2018-8-14.
- [22] Arumugam M, Verzunov S, Kamath S, et al. Auto discovery and configuration of services in a load balancing appliance: U.S. Patent Application 10/101,981[P]. 2018-10-16.
- [23] Kansal N J, Chana I. An empirical evaluation of energy-aware load balancing technique for cloud data center[J]. Cluster Computing, 2018, 21(2): 1311-1329.
- [24] Soo W K, Ling T C, Maw A H, et al. Survey on load-balancing methods in 802.11 infrastructure mode wireless networks for improving quality of service[J]. ACM Computing Surveys (CSUR), 2018, 51(2): 34.

致 谢

Xxxx

复旦大学

学位论文独创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。论文中除特别标注的内容外，不包含任何其他个人或机构已经发表或撰写过的研究成果。对本研究做出重要贡献的个人和集体，均已在论文中作了明确的声明并表示了谢意。本声明的法律结果由本人承担。

作者签名：_____ 日期：_____

复旦大学

学位论文使用授权声明

本人完全了解复旦大学有关收藏和利用博士、硕士学位论文的规定，即：学校有权收藏、使用并向国家有关部门或机构送交论文的印刷本和电子版本；允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其它复制手段保存论文。涉密学位论文在解密后遵守此规定。

作者签名：_____ 导师签名：_____ 日期：_____