



信息科学技术专著丛书

基于Agent的云服务 模型与技术

李文娟 曹健 王小刚 著

AGENT-BASED CLOUD SERVICE MODEL AND
TECHNOLOGY



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



信息科学技术专著丛书

基于 Agent 的云服务模型与技术

李文娟 曹 健 王小刚 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

云计算是目前计算机技术研究的热点和前沿领域。服务管理是云计算的核心问题之一。然而,目前的技术在具备开放、动态和虚拟化等特点的云计算市场无法发挥最佳效用。为此,本书将自组织系统理论和 Agent 技术引入云服务市场,通过 Agent 化服务组件之间的动态自适应协同来提高云计算系统的性能和服务质量,推动云服务市场的进化和完善。

围绕着构建自组织、可信任和高效率的云服务管理这一目标,本书研究了基于信任的自组织云服务市场架构、服务价格协商和选择机制、分布式服务组合算法和动态服务组合策略,以及面向移动云计算的可信动态服务组合模型。

本书展示了作者承担的国家自然科学基金项目的最新研究成果,可作为相关研究领域博硕士研究生的参考书,也可作为对软件 Agent 技术感兴趣人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

基于 Agent 的云服务模型与技术 / 李文娟, 曹健, 王小刚著. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2021. 10
ISBN 978-7-5635-6515-3

I. ①基… II. ①李… ②曹… ③王… III. ①软件工具—程序设计 IV. ①TP311.561

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 179431 号

策划编辑: 马晓仟 责任编辑: 孙宏颖 封面设计: 七星博纳

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 唐山玺诚印务有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 11.5

字 数: 283 千字

版 次: 2021 年 10 月第 1 版

印 次: 2021 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-6515-3

定价: 42.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

前 言

云计算是 IT 领域的研究和应用焦点,云服务管理则是云计算应用研究的核心问题之一。然而目前云服务管理还面临着市场框架不清晰,服务管理的效率和可靠性不高,资源配置和服务评价的手段不统一、不准确等问题,严重地制约了云计算技术的应用和推广。因此,以云计算环境为背景,研究“高可用+高可靠+高性能”的“三高”云服务市场架构、服务选择、供应和自组织协同模型与策略具有十分重要的意义。

针对云计算开放、分布和虚拟化等特点,本书将自组织系统理论和 Agent 技术引入云服务市场,将服务处理分散化,充分利用智能体 Agent 所具有的自治性、社会性、反应性和主动性等特性,实现真正意义上的云服务自主和智能协同。

围绕着构建自组织、可信任和高效率的云服务管理这一目标,本书对基于量子群智算法的云服务推荐模型、基于信任的自组织云服务市场架构和交互协议、综合考虑提供商和用户利益的服务价格协商和自适应服务选择模型、基于服务生命周期优化的分布式服务组合算法、基于服务联盟自优化的动态云服务组合策略,以及面向资源受限的移动云计算环境的可信动态服务组合模型进行了深入研究。其中,第 1、2、3、7 章及结论和展望由李文娟主笔,曹健参与撰写;第 5 章由曹健主笔,李文娟参与撰写,部分内容采用了曹健指导的研究生童红霞等人的工作成果;第 4、6 章由王小刚撰写;本书由李文娟进行统稿。

撰写本书的目的在于通过对基于 Agent 和可信管理技术的云服务体系架构和支撑技术的研究,促进云计算技术的成熟和进步,帮助涉云企业能够以更短的时间、更高的质量和更低的成本向市场提供满足用户需求的产品,同时也帮助用户提升云服务体验,坚定用户使用云服务的信心。

本书展示了作者承担的国家自然科学基金项目“信任驱动的云服务自组织选择机制”的最新研究成果,以及作者博士后期间与上海交通大学服务与云计算实验室的多项高水平合作研究成果,将使读者深入了解基于 Agent 的云服务管理模型和技术的国际前沿成果,帮助其在更高的起点上进行相关学术和应用研究。

本书的编撰过程得到了上海交通大学服务与云计算实验室的大力支持,感谢杭州师范

大学钱江学院将本书列为优秀学术专著予以资助。

云服务市场是一个充满活力的新兴市场,其底层架构和实现技术仍处于不断发展和完善过程中。由于作者能力和水平有限,尽管竭尽全力,但仍难免存在错误和疏漏,恳请各位专家、相关领域科研工作者和读者批评指正。

作者

2021年1月29日于杭州

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 云计算的特点和服务类型	2
1.1.2 云服务管理技术	2
1.1.3 云的信任需求	3
1.1.4 智能体 Agent 技术	3
1.2 研究现状	4
1.2.1 云服务管理架构	4
1.2.2 服务信任管理	4
1.2.3 基于 Agent 的服务管理技术	5
1.3 本书内容简介	6
1.3.1 本书内容来源	6
1.3.2 本书的意义	6
1.3.3 本书的主要内容	7
本章参考文献	7
第 2 章 基于量子群智算法的云服务推荐模型	15
2.1 引言	15
2.2 相关工作	16
2.2.1 协同过滤推荐算法	16
2.2.2 随机蛙跳算法和量子计算	16
2.3 DQSFL 算法介绍	17
2.3.1 DQSFL 算法的量子位	17
2.3.2 DQSFL 算法流程	18

2.4	基于 DQSFL 的协同过滤推荐算法	18
2.4.1	项目配置文件	18
2.4.2	最近邻的选择及相似度计算	19
2.4.3	基于 DQSFL 算法的权重优化过程	20
2.4.4	评分预测及推荐	21
2.5	性能评估	21
2.5.1	DQSFL 的检测与分析	22
2.5.2	基于 DQSFL 方法的协同过滤算法实验	23
2.6	本章小结	25
	本章参考文献	26
第 3 章	基于 Agent 的云服务市场模型	29
3.1	引言	29
3.2	相关工作	30
3.2.1	基于中介的云服务选择模型	30
3.2.2	分布式信任管理模型	32
3.3	TSLAM:信任和 Agent 自主学习驱动的云服务匹配模型	33
3.3.1	系统框架	34
3.3.2	Agent 交互协议	35
3.4	轻量级服务信任管理机制	36
3.4.1	信任的定义	36
3.4.2	TSLAM 中的信任实体	37
3.4.3	轻量级信任计算方法	38
3.5	Agent 行为实现	40
3.5.1	学习 Agent	40
3.5.2	用户 Agent	40
3.5.3	中介商 Agent	43
3.5.4	服务提供商 Agent	51
3.6	性能测试	51
3.6.1	实验设计	51
3.6.2	学习模型的效果	55

3.6.3 不同策略下云服务市场的性能比较	56
3.6.4 信任机制评估	59
3.7 本章小结	62
本章参考文献	62
第 4 章 基于效用纳什均衡的云服务自适应选择与供应	67
4.1 引言	67
4.2 相关工作	68
4.3 云服务选择与供应模型	69
4.3.1 基本模型定义	70
4.3.2 效用度量模型	71
4.3.3 系统处理总过程	73
4.4 自适应云服务定价协商	74
4.4.1 并行云服务定价协商	74
4.4.2 自适应重协商机制	79
4.5 供需效用纳什均衡模型及最优化供应策略组合	81
4.5.1 云服务供需效用纳什均衡模型	81
4.5.2 最优化云服务供应策略组合	83
4.5.3 自适应重协商供需利润模型	87
4.6 关键算法	88
4.7 实验评估	90
4.7.1 实验设置	90
4.7.2 实验结果分析与讨论	91
4.8 本章小结	99
本章参考文献	99
第 5 章 基于服务 Agent 的分布式服务组合模型	103
5.1 引言	103
5.2 相关工作	104
5.3 基于服务 Agent 的服务组合生命周期	105
5.4 服务 Agent 间的关系	106
5.4.1 服务 Agent 之间依赖关系的定义	106
5.4.2 依赖关系图	107

5.5	分布式规划算法	108
5.5.1	初始化阶段	110
5.5.2	逆向搜索阶段	111
5.5.3	前向决策阶段	113
5.6	性能评价	117
5.6.1	消息数目	118
5.6.2	规划 workflow 包含的规划数目	121
5.6.3	规划 workflow 包含的规划之间的数据流映射数目	123
5.7	本章小结	124
	本章参考文献	124
第 6 章	基于服务联盟自优化的动态云服务组合	128
6.1	引言	128
6.2	相关工作	129
6.3	云服务联盟组合模型	130
6.3.1	云服务组合模型结构	130
6.3.2	云服务联盟组合模型定义	131
6.4	云服务联盟组合及自优化机制	133
6.4.1	云服务联盟聚合函数	133
6.4.2	云服务联盟自优化机制	134
6.4.3	联盟自优化算法流程	138
6.5	实验评估	139
6.5.1	实验设置	139
6.5.2	实验结果比较	141
6.6	本章小结	142
	本章参考文献	142
第 7 章	面向移动云计算环境的可信动态服务组合	145
7.1	引言	145
7.2	相关工作	146
7.2.1	移动云计算的服务调度模型	146
7.2.2	偏好学习	147

7.3 系统总体设计	147
7.3.1 系统架构	147
7.3.2 基于 Agent 的云交互模型	148
7.4 基于模糊综合评价的信任管理模型	148
7.4.1 基于 FCE 方法的信任评估模型	148
7.4.2 案例分析	150
7.5 信任和学习驱动的动态服务组合模型	152
7.5.1 学习驱动的服务组合模型	152
7.5.2 基于两阶段改进 FCM 方法的学习算法	155
7.6 性能评估	158
7.6.1 信任机制的有效性	158
7.6.2 基于 JADE 服务组合平台	160
7.6.3 学习机制的效果	163
7.6.4 信任对服务组合的影响	165
7.7 本章小结	166
本章参考文献	167
结论和展望	171

第1章 绪论

随着计算机和互联网技术的发展,人们对网络服务的依赖达到了空前的高度。然而,大部分的企业和终端用户都希望以低廉的成本获取高品质的服务。云计算技术就是在这种情况下应运而生的。云计算以互联网为基础,将一切资源(包括硬件、软件、平台等)都封装成服务,并提供给企业和终端用户^[1-3]。它使得用户在无须部署大量软硬件设施的基础上获得超强的计算能力、信息传输能力和存储能力。云计算提供廉价按需服务的特点以及“技术+商业”的实现模式受到了学术界及工业界的广泛关注,业已成为当前计算机技术研究的热点和前沿领域。

透析云的定义,不难发现云与服务之间关系密切,甚至可将云理解为一种面向高性能计算的服务,服务管理是云计算的核心问题之一。作为提供服务的商业市场,云实体之间因为服务交易而形成各种复杂关系,一个功能完善的云服务管理模型需要借助市场机制来调节。

市场是自发、自组织的系统,市场实体之间的交互是一种动态自适应过程。云市场在建立伊始处于混沌状态,随着交易的不断进行,其在买家和卖家的沟通交流过程中最终达到稳定和均衡。然而,传统的云服务管理往往采用集中式控制策略,无法真正体现云的自发和自组织特性。随着云服务的极大丰富,云市场中存在大量功能相近而服务属性具备较大差异的服务,加之资源虚拟化和网络状态的不确定性,给高效率、高可靠服务管理造成了巨大障碍。

为了应对上述挑战,本书将自组织系统理论引入云服务市场,将服务处理分散化,通过 Agent 技术让云实体自主化、智能化,依靠它们的自主协同去适应连续变化、不确定、开放的云计算环境。

此外,云作为一种商业运营模式,在实际应用中极有可能存在一些异常状况,比如少数未能够按照宣称的 SLA 提供服务的云服务商,为了集团利益,共谋或提供虚假推荐的节点等。云服务管理还需充分考虑服务的可信性问题。

本章首先对相关研究背景进行了介绍,包括深入分析了云服务管理中的自组织服务协同、安全和信任需求,在此基础上,综述了国内外在云服务管理架构、基于 Agent 的云服务管理技术,以及可信云服务管理方面的技术现状和存在问题,最后概述了本书的内容和结构。

1.1 研究背景

云计算是一种新型 IT 基础设施的交付和使用模式,它以互联网为底层基础设施,将大量不同层次、不同虚拟化程度的可共享资源进行统一调度和管理,形成统一动态易扩展的虚拟化资源池,向用户提供按需服务。

1.1.1 云计算的特点和服务类型

云计算系统有着诸多有别于传统其他环境的特点^[4-5],具体如下。

① 超大规模。要构成云平台提供云服务,其后台的资源池必须有相当的规模。

② 完全虚拟化。在云中,一切资源都是完全虚拟化的。这简化了终端用户的操作,有利于保护资源和用户的隐私。

③ 提供按需服务。云服务应是可定制的,可以根据用户的需求自主地选择服务类型和服务级别。云用户可以像使用水和电一样方便地按需购买云系统中的服务。

④ 注重服务质量。云计算在强调按需为用户提供服务的同时,注重服务的品质和用户的 QoS(Quality of Service)需求。

⑤ 价格低廉。因资源的能力是由大量节点共同构成的,因而云系统可以由若干低配置的节点来构成。虚拟化技术的应用使得资源的整合和分割变得十分容易,因此在提供相同服务时,云计算能够做到低成本、低价格。

⑥ 强调安全性。在云中,不同用户的信息可能同时存储,而同一用户的不同信息又可能分布存储,并且用户任务的执行是在虚拟化的资源池中进行的,因而特别强调数据隐私和安全性。

云计算按照服务层次的不同,可以划分为 3 种类型^[6-7]:基础设施作为服务(Infrastructure as a Service, IaaS)、平台作为服务(Platform as a Service, PaaS)和软件作为服务(Software as a Service, SaaS)。

1.1.2 云服务管理技术

随着云计算的发展,IT 巨头们纷纷进入云计算产业,各种类型的云服务不断涌现,满足了用户不同层次的应用需求^[8]。目前,使用云服务构建应用系统的模式主要有公有云、私有云、社区云以及混合云等。由于云是一种动态变化的系统执行环境,所以一个当前运行良好的云服务在下一时刻性能和状态可能会发生变化。同时,云服务扩展了 Web 服务范畴,使用 Web 服务管理方法管理云服务,需要考量新的服务性能参数,比如云虚拟机的服务能力、服务响应时间、服务可用性等。云服务的管理,尤其是云服务资源的合理配置相对于传统 Web 服务更加复杂。

针对业务逻辑相对独立的应用,通过制定云服务统一标准和规范,可以建立服务基础结构,即面向服务的体系结构。其中,云本体技术^[9-13]提供了领域知识抽象方法,进行服务规范化和服务匹配选择。多准则决策(MCDM)^[14]和多准则最优化技术^[15]则解决了服务排名和选择优化问题。针对业务逻辑相互依赖的应用,一般使用云服务选择和组合方法。然而服务组合优化通常是一个 NP-hard 问题,需要解决大量问题,比如,如何从多个服务提供商的候选服务池中选择合适服务进行组合,如何满足服务的动态性,如何适应动态且快速变化的云服务环境,如何实现用户、服务供应商和服务中间商的协同获利,等等。目前,服务组合的常规方法包括回溯法、分支定界法、基于图的方法、基于 Agent 的方法、基于组合优化算法以及基于博弈论模型等。然而,面对完全分布式、资源虚拟化和动态变化的云计算环境,目前的技术仍面临诸多挑战,尤其是亟须能够自适应地进行云服务选择和组合的策略,以完成用户的复杂业务需求。

1.1.3 云的信任需求

互联网环境的分布具有无中心性、自治不确定性和动态异构性等特点,这决定了其存在强烈的信任管理需求^[16-18]。而云计算正是架设在分布式互联网系统之上,并且互联网在进化到云系统之后,其广度、分布性、动态性和虚拟化程度都达到了前所未有的高度。在云中,用户很难获知自身的数据和应用究竟在哪些节点上运行,服务资源究竟由哪些实际站点整合而成,因而无法实施正常的安全防护措施。云环境的特殊性使得传统的安全解决方案在面对云安全问题时显得力度不够或效果不佳。而信任正是解决这类动态和不确定性问题的重要手段之一。云计算存在着对信任及基于信任的安全解决方案的强烈需求。早在2009年学者就曾断言:信任是云计算研究中的最大问题^[19]。

随着云计算技术的不断纵深发展,各种类型的云服务不断涌现,为用户提供了大量选择,然而实际情况是用户获取理想服务的难度在增加^[20-22]。主要原因包括:1)云环境虚拟动态的特点使得用户很难对服务提供商所宣称的服务能力和服务QoS进行鉴别;2)云系统中存在着极少数恶意服务提供者,偶然发生的服务失败体验降低了用户对云服务的整体信任度;3)缺乏公正且可操作强的服务评价机制,当前服务评价的方式容易受到使用者主观因素的影响,甚至可能受到恶意或虚假评价的影响,继而影响到后续用户的服务选择行为。因此,建立合理有效且准确性高的服务评价机制,尤其是信任评价机制,是保障用户获得高品质的云服务,确保云系统安全有序运行的关键环节。

近年来,研究者针对分布式系统、P2P环境和网络计算环境提出了大量有价值的信任参考模型,但云环境的特点决定了已有模型可以借鉴,但无法直接使用。同时,信任本身是一个很难处理的概念,具有动态性、主观性、不确定性、上下文相关性、抽象性、非对称性、时间滞后性和模糊性等特点,设计适应云计算的新型信任模型和基于信任的安全解决方案是一项艰巨且极具挑战性的工作。

1.1.4 智能体 Agent 技术

Agent概念来源于人工智能(Artificial Intelligence, AI)领域,近年来,受到人们的极大关注。Agent一般特指那些具有一定智能和自治能力,能够根据环境变化作出响应和进行相应处理的软件系统。作为国际标准化组织的FIPA只是制定了支持不同Agent系统之间交互的标准,规定了支持Agent系统互操作必须的接口,并没有给出Agent的内部结构和实现方法。

Agent的属性如下。

- ① 自治性。Agent能够在没有人或其他外界因素的干预下运行。
- ② 协作性。对于复杂任务,Agent可以与其他Agent或人进行交互协作。在面向Agent的系统中,交互双方处于对等地位。Agent之间通过交换知识(knowledge)、信念(belief)及计划(plan)进行协同工作。
- ③ 反应能力。Agent可以感知环境并及时地作出反应。Agent的行为包括触发规则或执行定义好的计划,更新Agent的事实库,以及发送消息给环境中的其他Agent。
- ④ 主动性。Agent可以主动地采取行动达到目标。Agent可以根据目标和意图进行推理,并据此规划以后的行为。

⑤ 适应性。Agent 可以适应环境的变化。

目前,多 Agent 通信的方式包括直接通信方式(各 Agent 之间直接进行交互协调)和辅助协作方式(各 Agent 之间依靠专门的系统程序实现协同)。Agent 的特征弥补了云服务管理在智能性、适应性和主动性方面的不足,帮助云服务实现了动态企业集成。

1.2 研究现状

本节将从云服务管理架构、服务信任管理及基于 Agent 的云服务管理技术三大方面论述国内外研究现状和主要问题。

1.2.1 云服务管理架构

云服务管理体系需综合考虑多方面因素,包括各种虚拟化层次的资源和服务、用户、服务提供商、服务中间机构以及服务运营部门等。一般而言,涉云 IT 企业的云服务管理模式分为两种:以服务为核心的管理模式(以服务用户为中心)和以运维为核心的管理模式(以资源尤其是虚拟化资源为核心)。

不少研究者认为作为商业服务平台,云服务应采用面向服务的体系架构(SOA)。SOA 于 1996 年由 Gartner 公司提出,代表一种新型的 IT 架构设计模式。“服务”是 SOA 中最重要的组成元素。SOA 强调松散耦合、重用和互操作,从而实现企业业务的按需应变。云计算系统以 SOA 为模式架构提供云服务,能够完美地向云用户屏蔽具体服务的实现细节,符合云计算环境的潜在要求。

另一类观点是推崇以市场为导向的云计算。这种模型尝试引入市场经济的经典理论,用于解决云计算,尤其是云服务管理中面临的问题。以市场方式运作的云系统,要求云服务是高度可靠且可扩展的,并且具有明确的服务类型和服务质量(Quality of Service, QoS)标准,支持随时随地访问。服务提供商和用户通过事先协商好的服务质量和等级协议(Service Level Agreement, SLA)完成市场交易。SLA 对资源/服务进行简单抽象,提供资源/服务的功能性属性/服务能力对服务质量进行承诺^[23]。服务提供商通常会制定不同级别、不同资费的 SLA,以满足不同消费者的要求。

由于云计算资源隶属于不同的服务/资源提供商,应用和数据有时需要跨组织、跨平台共享,这使得传统的市场机制无法很好地在云服务市场中发挥作用。基于市场的云计算需要提出专门的云服务市场框架和实现机制,这是云市场能够高效稳定运作的关键因素。Buyya 等^[24]提出了加入资源调配者的三层云计算市场框架。Song 等^[25]引入了云服务市场中中介商的概念。Cuong 等^[26]将纳什均衡理论引入服务选择过程,通过云用户与服务提供商之间的两阶段价格博弈,帮助用户寻找最适宜的服务商。马小龙等^[27]提出了基于组合双向拍卖和信任的云资源分配与定价策略。

1.2.2 服务信任管理

1900 年德国社会学家齐美尔在《货币哲学》一书中最早提到了信任的概念。他指出,信任是社会中最重要的一股力量之一,离开了人们之间的一般性信任,社会将变成一盘散沙。信任已被广泛认可为一种最主要的社会资本,可以降低市场经济中的交易开销,简化交易流

程,提高经济效益,也可以成为政治制度运行的润滑剂,缓和派别冲突,提高政绩^[28]。

随着社会的进步,信任研究从早期的心理学、社会学、哲学等领域,逐步融入工商管理、经济学及计算机应用等领域^[29]。1996年,M. Blaze 等为了解决 Internet 网络服务的安全问题,首次将“信任管理(trust management)”的概念引入分布式系统^[18]。新一代分布式网络系统,尤其是云计算系统的分布无中心性、节点的动态和自治性、系统的开放性、支持公共访问以及协同性等新特点导致传统的安全解决方案无所适从。而信任管理的基本思想是承认系统中安全信息的不完整和不对称性,系统的安全决策需要依靠可信任的第三方提供附加的安全信息,因而成为一种解决云计算环境安全问题的新思路。

应用于分布式环境的信任模型主要包括以下几类^[30-32]:①基于 PKI(Public Key Infrastructure)的信任模型^[33-34],这类模型由少数领袖节点(leader node)负责维护整个网络的安全,而领袖节点的合法性由 CA 颁发的证书予以保证;②基于网络拓扑的信任模型^[35-37],此类模型使用网络模型来充当信任模型,依据网络拓扑中节点的位置来评估节点的信任度;③基于基本行为和全局可信度迭代的信任模型^[38-39],此类模型充分利用历史交易数据并结合其他节点的推荐值来综合计算节点的信任度;④基于域的信任模型^[40-42],通过划分信任域并在域中设置信任代理来处理信任问题,此类模型可看作 PKI 和全局可信度迭代的折衷。信任模型的理论基础包括改进的证据理论(D-S theory)^[43-44]、主观逻辑^[45]、模糊逻辑^[46]、贝叶斯理论^[47]和熵理论^[48]等。

近年来,云计算领域的信任管理研究也取得了不小进展。比如:李小勇等^[49]提出了能够更准确地量化和预测用户认知行为的动态信任模型;谭跃生等^[50]提出了基于相对熵的组合赋权法,对用户行为进行信任评估;本章参考文献^[51-52]提出了结合进化算法的信任管理机制;王守信等^[53-54]提出了基于云模型的信任评估方法;谢晓兰等^[55]提出了改善模型动态性和综合性的双层激励和欺骗检测信任模型。我们也在云信任管理的研究中做了一些尝试,比如,提出了针对开放云环境的信任管理架构^[30]、推荐作为交易的轻量级信任计算方法^[31]、基于模糊聚类的组合信任策略^[32]等。

针对服务选择中的可信性问题,研究者提出了结合可信技术的服务选择策略,比如:Li 等^[56]提出了基于信任的多属性服务最优化选择算法;胡春华等^[20]提出了基于信任生成树的云服务组织方法,帮助云用户排除恶意、虚假服务;王燕等^[57-58]基于服务选择的二分网络,结合云消费者的服务选择相似度,提出了社团信任驱动的服务选择模型;孟宪佳等^[59]提出了面向可信和行为模式匹配的两层服务选择方法,Yan 等^[60]提出了面向服务选择、以用户为中心的信任模型。也有研究者提出了基于信任和 QoS 偏好的服务选择算法,比如本章参考文献^[61-63]。我们也在基于信任的云 workflow 调度和服务发现模型上做了一些工作,比如基于 Berger 理论的两阶段任务调度模型^[64]、基于信任面向区间数值型资源的云服务资源定位算法^[65]、基于信任的工作流调度模型^[66]、基于信任模糊综合评价的任务调度模型^[67]等。

然而,结合信任机制的服务管理策略普遍存在信任的表示方法或度量模型比较复杂,无法很好地与云服务选择过程有机结合等问题。另外,自组织服务管理模型与信任的交叉研究还比较稀缺,有待进一步探索。

1.2.3 基于 Agent 的服务管理技术

运用 Agent 技术进行服务管理,研究者通常将服务的参与者,比如服务提供商、服务消

费者看作 Agents, 通过着色 Petri 网来模拟它们之间的交互行为^[68]。本章参考文献[69]加入了服务代理 Agent, 通过代理帮助用户寻找合适的服务提供商。Agent 与 Web 服务的结合为实现企业服务集成提供了一个全新的研究视角。本章参考文献[70]提出了一种基于 Agent 的服务组合算法, 借助合同网协议来选择合适的单一服务进行组合。本章参考文献[71]提出了基于 Agent 和上下文感知的 Web 服务组合方法。本章参考文献[72]提出了一个基于 Agent 的服务 workflow 模型。其中, Agent 技术用于实现企业内部和企业之间的协调, Web 服务技术则为服务 workflow 模型提供消息和服务描述等。本章参考文献[73]提出了一个基于 Agent 的语义 Web 服务组合方法, 该方法通过 Agent 层实现服务需求与任务之间的转换。在以上的研究中, Agent 仅是 Web 服务的一个代理, 并没有实现软件 Agent 技术与 Web 服务技术的集成。

英国肯特大学的 K. Sim 等人是基于 Agent 云服务管理技术的研究先驱。2009 年, K. Sim 首次提出了在云计算环境中使用智能体 Agent 辅助资源发现和协商^[74], 之后他进一步明确了基于 Agent 的云计算概念, 提出了通过 Agent 及其交互协议和自主协商协同机制进行服务资源的发现、选择、组合、workflow 调度及资源监控等^[69, 75-76]。为了支撑这一概念, 他们提出了一系列的模型和算法, 包括基于 Agent 的云本体^[77-78]、基于 Agent 的资源调度算法^[79-81]、云服务组合模型^[70]、基于 Agent 的互联云模型^[82]、Agent 服务协商策略^[83-84]、基于 Agent 的 workflow 调度策略^[85]。随着 IoT、雾计算和边缘计算的出现, 他们进一步将 Agent 的应用领域扩展到雾和边缘环境^[86-87]。

我们在基于 Agent 的云服务管理中的主要贡献包括: 提出了基于 Agent 和分布式代理的云服务市场架构^[88-89]、面向资源受限的移动云计算环境的服务组合模型^[90]、基于 Agent 的云服务自适应选择与供应机制^[91]、基于服务 Agent 的分布式服务组合算法^[92]、基于服务联盟自优化的动态云服务组合机制^[93], 以及以 Agent 为思想构建的云服务推荐算法^[94]。

上述方法能够在给定数量的云服务提供商下, 通过 Agent 并行执行的方式在线性时间内寻找到最佳解。然而, 针对服务资源状态的可变性, 基于 Agent 的方法需要 Agent 之间不断交互协同, 这在一定程度上影响了算法性能。

1.3 本书内容简介

1.3.1 本书内容来源

本书的内容来源于作者主持的国家自然科学基金青年项目(编号为 61702151)“信任驱动的云服务选择机制”的研究成果, 以及作者在博士后期间与上海交通大学服务与云计算实验室的共同研究成果。

1.3.2 本书的意义

云计算是目前 IT 技术领域的焦点, 云服务管理则是云计算应用研究的核心问题。而目前云服务管理还面临着市场框架不清晰, 服务选择的效率和可靠性不高, 资源配置和服务评价的手段不统一、不准确等问题, 严重制约了云计算技术的应用和推广。因此, 以云计算环境为背景, 研究基于 Agent 技术的可信自适应云服务市场模型和管理策略, 以及高效率

的云服务资源匹配、服务选择和服务组合算法具有十分重要的意义。

本书将帮助致力于云计算技术的科学工作者深入了解基于 Agent 的云服务管理模型和技术的国际前沿成果,帮助其在更高的起点上进行相关学术和应用研究,推动云计算技术的应用和发展。

1.3.3 本书的主要内容

本书以构建自适应、高可信、高效率的云服务管理为目标,对云计算环境下的 Agent 技术、可信云服务市场体系架构、云服务选择和调度模型、服务推荐模型,以及服务组合及优化算法进行了深入的研究。

本书的主要内容包括:

① 绪论。介绍相关的研究背景及意义,讨论相关技术的国内外研究现状,论述本书的研究价值和主要创新点。

② 基于量子群智算法的云服务推荐模型。提出基于量子计算和群智算法的服务推荐模型。

③ 基于 Agent 的云服务市场模型。提出结合自组织系统理论和 Agent 技术的三层架构云服务市场框架,以及基于信任的中介商自主学习服务匹配模型。

④ 基于效用纳什均衡的云服务自适应选择与供应。提出综合考虑提供商和用户利益的云服务价格协商机制,构建最优的云服务供应策略。

⑤ 基于服务 Agent 的分布式服务组合模型。提出服务组合生命周期的四大阶段,以服务 Agent 间的依赖关系为基础,将服务组合问题转化为图的搜索问题,提出分布式服务组合算法。

⑥ 基于服务联盟自优化的动态云服务组合。结合 Agent 技术和云服务社区来管理服务,通过云服务联盟合作博弈解决动态云服务组合问题,提出一种自优化的动态云服务组合机制。

⑦ 面向移动云计算环境的可信动态服务组合。进一步研究 Agent 的学习算法,提出面向资源受限移动云市场的可信服务组合模型。

⑧ 结论和展望。对本书内容进行总结并就进一步的工作进行展望。

本章参考文献

- [1] 刘鹏. 云计算[M]. 3 版. 北京:电子工业出版社, 2015.
- [2] Buyya R, Broberg J, Goscinski A. Cloud Computing: Principles and Paradigms [M]. Hoboken: John Wiley&Sons, inc., 2011.
- [3] 中国云计算[EB/OL]. (2020-12-08)[2021-01-08]. <http://www.chinacloud.cn>.
- [4] Foster I, Zhao Y, Ioan R, et al. Cloud Computing and Grid Computing 360-Degree Compared[C]//2008 Grid Computing Environments Workshop. Austin, TX: IEEE Computer Society, 2008:1-10.
- [5] Michael P P, Paolo T, Schahram D, et al. Service-oriented computing: state of the art and research challenges[J]. Computer, 2007,40(11):64-71.