



On-demand Service Oriented
Software Engineering for Cloud Computing

面向云计算的 按需服务软件工程

文 斌 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

014021077

TP311.52

379

面向云计算的 按需服务软件工程

文 斌 著



TP311.52

379

国防工业出版社

· 北京 ·



北航

C1705549

图书在版编目(CIP)数据

面向云计算的按需服务软件工程/文斌著. —北京:
国防工业出版社, 2014. 1

ISBN 978-7-118-09043-7

I. ①面... II. ①文... III. ①网络软件-软件开发
IV. ①TP311.52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 233203 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 880×1230 1/32 印张 6½ 字数 186 千字

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 49.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

随着软件与网络的深度融合,激励着软件方法和技术的创新。“软件即服务”,充分利用网上可用软件资源,随需而变、协作应变,满足个性化多元化分布式涉众用户服务需求,我们正在走向面向服务的软件工程时代。

物联网将计算世界与物理世界有机联系起来,社会网络进一步将计算世界与人类社会社交活动连接起来以提供应用创新,下一步计算学科更高水平的发展必定迈向计算服务化、用户体验式道路。因此,以服务资源聚合为特征的目前主流之网络化软件生产中按需服务理论及其相关方法和技术研究具有广阔的应用前景和学科创新机遇。

云计算作为一种新兴的信息处理基础设施模式和商业模式得到广泛认可之后,人们开始关注其背后的科学问题和特有的核心技术,以便能更有效、高效、节省、保质地建设和利用云基础设施。此外,软件和资源“走进云”基础设施,以服务的形式为消费者所用,服务成为接入和放大各类基础设施能力的基本途径。云计算与服务计算的关系非常密切,云计算中最常提到的软件即服务、平台即服务和基础设施即服务中最核心的就是服务,而近来服务计算相关研究也多涉及云基础设施上的资源共享和应用集成。互联网已逐渐演变成为目前计算的基础设施,服务作为承载和放大计算基础设施能力的软件生产方式成就云计算资源共享能力。

服务计算和虚拟化技术是云计算的两大支撑技术。其中的服务计算作为云计算基础之一和网络化时代的企业软件生产技术,已经部分解决服务的表示、注册和组装,目前其知识体主要包括服务软件生命周

期的规划、资源生产、服务发布、计费和管理,但对计算的最终目的——按需服务及其相关问题的考虑和研究比较欠缺。

按需服务资源聚合、软件随需演变生长赋予了需求工程在服务计算时代新的机遇。本书针对网络化软件面对的涉众丰富、需求多变、涉众全球广域分布同时用户体验质量不断增长的实际问题,在面向服务的网络化软件开发强调发现和重用已有的服务资源,通过动态聚集服务资源来满足用户需求的软件生产技术形态下,采取以涉众为中心的服务软件的需求语义描述封装、语义互操作性服务需求聚类、需求语义驱动的服务资源定制等方法,以面向领域的服务需求语义完整性描述为支点,系统地研究和提出以下方法和技术:面向大众本体、不断演化、即时验证的涉众分布式需求语义获取技术;需求语义驱动的软件服务聚合生产方法和需求语义驱动的个性化服务资源主动定制;就农产品溯源领域服务资源供应进行载体实验,获取、实现 CASE 工具的功能性需求。

按需服务软件工程首先从涉众的需求描述形式入手,系统研究面向领域、用户主导的需求语义元描述、需求语义模型的构建内容和方式,探索服务的语义描述及封装方法,同时对以服务聚合为主的网络化软件语义互操作性进行了深入研究,为相关技术和方法提供理论指导。

对于需求语义分布式获取和服务资源聚类展开,充分发挥网上涉众群体智能和需求专家相结合采用语义 Wiki 引擎以捕获和验证网络化软件需求语义。主要技术要点如下:

(1) 广域分布的涉众参与实例化标注,加上自然演化机制可形成服务软件的需求语义。

(2) 基于语义 Wiki 的需求语义实例化验证、推理和精化。

即时获得需求语义后,通过需求语义互操作展开机制选择连接本体作为语义信息载体进行服务资源聚合生产出满足用户需求的网络化软件阶段性产品;对服务聚合中无法有效匹配的服务资源采用 RESTful 形式的 ATOM 需求订阅机制和推送技术进行按需主动定制,研究了服务定制者优先提供者选择和预测模型,设计了需求驱动的服务资源定

制平台。

需求语义驱动的按需服务关键技术和方法聚焦于需求获取、服务资源聚合和个性化服务资源定制方面,着力转换传统的以服务提供者为主的服务系统开发为用户主导的按需服务开发。需求语义由网上涉众分布式协作获取,即用户需求(知识)表示;需求语义驱动的服务资源聚类匹配,即按需生产;需求语义驱动的个性化服务资源主动定制,即按需定制。

同时,把本书工作与相关研究进行了系统比较,根据理论与实证结果表明,基于上述技术和方法的按需服务软件工程研究对于云计算环境下服务软件的以涉众为中心的即时交付和促进服务系统之间互操作交互能力具有实用性和有效性。通过创新性地研究,努力在服务时代加速网络化软件的交付进度、提高交付质量、满足用户显性和隐性需求,提供按需服务能力。

由于面向服务、涉众驱动的语义需求工程研究仍然是一个发展中的、需要付出艰巨努力的课题,针对一些不足,书中也提出了进一步的研究规划。

本书是作者在海南省自然科学基金(613162)、海南省教育厅高校科研重点项目(Hkj2013-17)下的系统研究成果,并得到海南师范大学学术著作出版基金资助。

在本书撰写过程中,得到了许多师友的帮助和鼓励,在这里无法一一列举,谨向他们表示诚挚的谢意。作者尤其要感谢武汉大学何克清教授、国防科技大学毛晓光教授、新加坡国立大学 LING Tok Wang 教授、海南师范大学吴丽华教授的关怀和帮助。同时也要感谢我的家人对我研究工作的支持。

虽极力追求完善,但书中不妥之处在所难免,欢迎各位专家、读者批评指正。

文斌

于海南师范大学怡园

2013 年 7 月

目 录

索引	1
第 1 章 绪论	2
1.1 研究目的与意义	2
1.2 拟解决的主要问题和贡献	8
1.3 研究目标	11
1.4 研究内容、问题及关联	13
1.5 国内外相关研究现状	16
1.5.1 面向服务的需求工程	17
1.5.2 网络化软件需求获取技术	18
1.5.3 互操作性能力度量与连接本体	20
1.5.4 服务资源定制	22
1.6 本书的组织结构	24
第 2 章 需求语义描述与服务语义封装技术	26
2.1 需求语义及相关研究	26
2.1.1 需求语义	26
2.1.2 语义描述方法	28
2.1.3 需求语义描述模型	31
2.2 服务的需求语义描述技术	36
2.2.1 面向服务的软件生产	36
2.2.2 服务的需求建模方法	40

2.2.3	服务需求语义元描述	44
2.3	服务语义封装与注册技术	47
2.3.1	服务的描述语义扩展	47
2.3.2	服务语义注册	54
2.4	基于需求语义的服务工程	56
2.5	本章小结	58
第3章	涉众驱动的软件需求语义获取方法	59
3.1	自然演化的大众分类	59
3.2	分布式涉众需求语义协作获取与验证	62
3.2.1	面向服务的需求语义模型	67
3.2.2	涉众驱动的需求语义分布式协作获取	79
3.3	本章小结	83
第4章	需求语义互操作性展开与服务聚合生产方法	84
4.1	网络化软件的语义互操作性	84
4.1.1	语义互操作性描述	85
4.1.2	语义互操作性度量	88
4.1.3	语义互操作性匹配	91
4.1.4	语义互操作性管理	95
4.2	互操作展开的信息载体——连接本体	98
4.3	互操作性聚类	106
4.3.1	基于语义互操作性的服务替换	108
4.3.2	RSO 制导的服务聚类	109
4.4	从连接本体到连接开放数据	113
4.4.1	发布结构化数据	114
4.4.2	应用连接开放数据	117
4.5	本章小结	118

第5章 需求语义驱动的服务资源主动定制方法	119
5.1 服务资源定制	119
5.1.1 服务资源供应	119
5.1.2 现有服务资源供应的主要问题	120
5.1.3 服务资源个性化主动定制的研究动机	122
5.2 服务资源定制模型	126
5.3 服务资源的个性化主动定制生产	131
5.3.1 需求语义驱动的服务资源定制体系结构	133
5.3.2 基于 ATOM 协议的服务资源定制设计	135
5.3.3 与其他相关研究的比较	143
5.4 本章小结	145
第6章 按需服务工程实证与应用	146
6.1 实验原型的设计	146
6.2 分析与评估	159
6.3 基于 QR 二维码和数据聚合的海南农产品追溯服务应用	164
6.3.1 农产品追溯服务	165
6.3.2 QR 二维码与数据聚合	166
6.3.3 面向服务的农产品追溯服务系统设计	170
6.4 本章小结	175
第7章 总结和展望	176
7.1 全书的主要工作	176
7.2 本书的主要贡献	178
7.3 进一步的研究	180
参考文献	182

索引

- CO 级的语义行为协作强度, 110
- MFI, 95
- RGPS, 45
- RSO 制导的服务聚类, 109
- RSS/ATOM, 132
- 部分语义互操作性, 90
- 大众分类, 61
- 服务定制设计, 135
- 服务定制体系结构, 133
- 服务工程, 5
- 服务聚合, 7
- 服务替换, 108
- 服务行为协作层的扩展, 52
- 服务需求模型定义, 68
- 服务需求语义元描述, 44
- 服务语义注册, 54
- 服务资源定制, 119
- 互操作聚类, 106
- 互操作性, 85
- 基于需求语义的服务工程, 56
- 连接本体, 101
- 连接开放数据, 114
- 领域问题本体 DPO, 100
- 面向服务的软件生产, 36
- 面向服务的需求工程, 17
- 面向服务的需求语义本体, 67
- 目标变化模式, 72
- 软件需求, 27
- 实验原型, 146
- 数据聚合, 131
- 网络化软件需求获取技术, 18
- 需求符号本体 RSO, 100
- 需求语义, 26
- 需求语义分布式协作获取, 79
- 需求语义获取协作平台, 81
- 应用连接开放数据, 117
- 语义 Wiki, 63
- 语义互操作性, 86
- 语义互操作性度量, 88
- 语义互操作性管理, 95
- 语义距离, 91
- 语义相似性, 89
- 语义需求工程, 63
- 原型分析与评估, 159
- 子本体, 99

第1章 绪 论

服务计算和虚拟化技术是云计算的两大支撑技术,其中的服务计算已经成为网络化时代的企业软件生产技术。随着软件与网络的深度融合,激励着软件方法和技术的创新。“软件即服务”(Software as a Service, SaaS),充分利用网上可用软件资源,随需而变、协作应变,满足个性化多元化分布式涉众用户服务需求,我们正在走向面向服务的软件工程(Service Oriented Software Engineering, SOSE)时代。

按需服务资源聚合、软件随需演变生长赋予了需求工程在服务计算时代新的机遇。针对网络化软件面对的涉众丰富、需求多变且用户体验质量不断增长的实际问题,在面向服务的网络化软件开发主要采取以发现和重用已有的网络服务,通过分布式异域服务资源动态聚合来生产满足用户需求的软件技术形态下,在绪论中将提出本书后续各章的研究动机、拟解决的主要问题和预期贡献、研究目标及内容,同时介绍相关方面国内外研究现状,最后是全书的组织结构说明。

1.1 研究目的与意义

互联网是信息技术领域人类在 20 世纪做出的对今后影响最大的发明,开放、自治、动态变化是互联网的主要特征,这些特征使得互联网计算与传统的分布式计算有着本质的不同。基于互联网的网络化软件与传统软件也有明显区别,网络化软件既要像桌面软件一样方便使用,满足多样化的个性需求和适应动态负载与可扩展性的要求,还要有效利用分散、自治、异构的网络资源,支持跨管理域的系统集成^[1-3]。

服务的概念源于社会和经济领域,是指为了创造和实现价值由顾客

与提供者之间进行的交互协同过程和行为。服务的结果往往是人们得到了价值体验。而在信息和通信技术领域,服务更多地被当作为一种自治、开放、自描述、与实现无关的网络化构件。服务计算是以服务及其价值提供为核心来构造、部署和运维,能求解实际问题的计算机应用。

云计算作为一种新兴的信息处理基础设施模式和商业模式得到广泛认可之后,人们开始关注其背后的科学问题和特有的核心技术,以便能更有效、高效、节省、保质地建设和利用云基础设施。此外,软件和资源走进云基础设施,以服务的形式为消费者所用,服务成为接入和放大各类基础设施能力的基本途径,服务计算成就云计算资源共享价值。云计算与服务计算的关系非常密切,云计算中最常提到的 SaaS、平台即服务(Platform as a Service, PaaS)和基础设施即服务(Infrastructure as a Service, IaaS)中最核心的就是服务,而近来服务计算相关研究也多涉及云基础设施上的资源共享和应用集成。

迄今,服务计算经历了两个阶段的发展。1996 年加特纳集团(Gartner Group)提出了面向服务架构(Service Oriented Architecture, SOA)^[4]的概念,2000 年前后服务计算兴起,2003—2005 年间出现了第一波高潮。在这一阶段,面向服务范型所强调的去耦合、基于开放标准互操作、大粒度重用、支持动态扩展等技术开始深入人心,人们尝试基于面向服务架构来搭建或重构企业应用集成(Enterprise Application Integration, EAI)等综合集成类应用系统,追求重用效果、灵活性、低成本和快速开发能力。万维网服务(Web Services)是该阶段最有代表性的 SOA 实现技术体系。

近年来,物联网^[5]、社会信息网络(Web 2.0^[6])和云基础设施^[7]是信息和通信技术领域最受关注的焦点。物联网是互联网通过各种信息感应、探测、识别、定位、跟踪和监控等设备和手段向物理世界的延伸,将实现包括物理世界在内的更大范围的信息联通。社会信息网络不仅使得用户贡献的信息和应用成为一类重要的互联网资源,而且也开辟了新的协同和交互模式。物联网和社会信息网络都需要新一代信息处

理基础设施,以提高资源共享程度和利用率、降低成本,以及通过专业化的社会分工来优化价值链条。基于互联网物理地或逻辑地(或两者兼有)集中各类应用相关的资源,建立网络化信息处理基础设施是云计算等新兴计算模式的本质追求。物联网、社会信息网络和云基础设施的发展使软件的构成、系统边界、运营方式、管控原理和使用模式产生了质的变化,也推动了服务计算的第二阶段发展。软件变服务已是大势所趋,主要体现在以下两个方面:一是在很多情况下,消费者不用在本地安装和部署软件,软件和资源将逐渐走进云中,形成基础设施能力;二是“一切皆服务”(Anything as a Service, XaaS)的软件使用 and 运营模式将支持用户以“使用而不拥有”的方式消费及利用信息与通信技术资源,按需付费。服务不仅是基础设施能力和泛在的用户体验之间的“纽带”和“粘合剂”,也是以动态、开放、不确定和聚众为基本特征的新兴网络环境下各类涌现智能的核心载体^[8]。目前,软件生产形态正在向以涉众为中心的按需服务方向转化(图 1.1)^①。

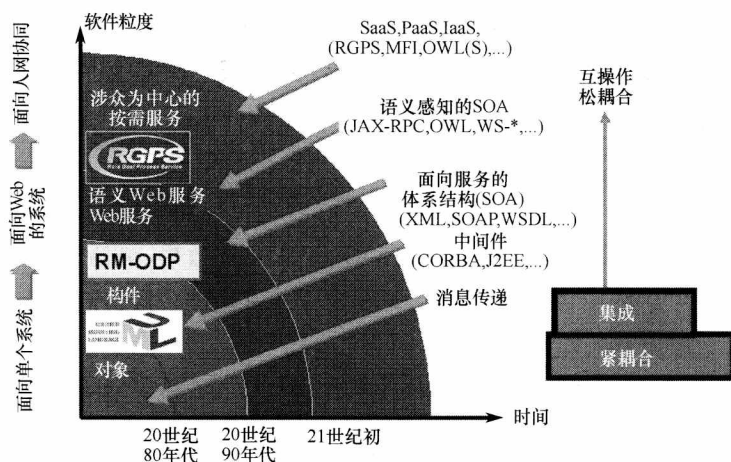


图 1.1 软件形态向涉众为中心的按需服务演化

① 何克清,云·端互动的RGPS元模型框架,2009年中国云计算大会。

与服务计算相对应的还有服务科学和服务工程。服务科学跨越计算机科学与技术、管理、经济等多个学科,旨在奠定 IT 使能的服务型社会的理论、方法、模式和技术。服务工程是指采用工程的技术、方法和过程用于 IT 服务产品的生产和供给。由于互联网已经成为网络化软件事实上的运维载体,软件生产范型正在向面向服务转变,基于服务的网络化软件成为研究热点,同时软件工程也有向服务工程迁移的倾向^[9,10]。

“面向服务”的思想深刻地改变了人们用信息技术解决商务问题的视角与思维,影响着软件系统分析、设计、开发、运行、管理等生命周期各阶段的方法论,软件系统也转变为以 SaaS/网络化软件为代表的新存在形态。“服务”所体现出来的以顾客满意度为中心、无处不在/无时不在的服务、关注业务价值等思想,对传统软件产业产生了深远影响。如今软件的架构、发布与使用方式正在发生颠覆性变化,软件与服务相关技术相互融合,利用信息技术提升现代服务产业已成为社会发展的主要推动力之一^[11]。

目前,软件生产技术的发展正向以提供服务为特征的方向转变^[12]。现在迫切需要产生新的 SOSE 的理论与方法。从学科发展的角度来看,在网上服务资源日趋丰富、SOA^[13] 解决方案逐渐成熟的今天,面向服务的软件工程研究的重点向面向服务的需求工程(Service - Oriented Requirement Engineering, SORE)倾斜。迫切需要以用户为中心、面向按需服务计算的软件方法及其技术标准化创新^[11]。

形式化和工程化是开发高质量、符合用户需求的主要软件开发方法论。软件工程即是工程化、系统化、高性价比成功开发软件的工程学科,自创立以来已在软件生命周期各阶段都取得了长足进步;相比而言需求理论与实践在软件工程各分支中相对滞后,有待进一步发展和完善。

需求工程是软件工程成败的关键,特别是网络化软件^[2] 生产技术是以分布异域的服务计算资源聚合为特征的;更有其特殊的重要性,构

件、遗留系统的服务封装,使得大部分的软件设计、实现、测试任务都由服务提供商预先分工协作完成。只要能够动态地获取用户需求,进行随需而变、协同应变的适应性需求建模,在面向领域规模化定制、语义 SOA、服务自组织及其互操作性聚类、动态服务组合与优化等技术的支撑下,就能够实现网络化软件“整体”生成、生长与协同工作,高质量地满足用户服务需求。因此,面向服务的软件工程正在向需求工程聚焦。

文献[14]已系统研究了面向特定领域的小型即时性服务组合软件的需求获取、验证、组合呈现,此类软件的需求网上即时获取、软件功能一次性生成,使用后软件形态随即释放。

除了小型即时性软件,网上涉众用户即利益相关者也对面向领域的大型网络化软件有迫切的要求,此类软件的特点是:软件功能庞大、需求复杂多样;关心软件建设的不仅仅是用户,更多的是利益相关者,统称涉众用户(Stakeholders);软件非一次性使用,而是长期应用、不断演化的生长过程;不仅仅使用服务资源,网上一切软件资源都可以为人们所用。

大型网络化软件系统面对的是涉众用户丰富、需求多变的复杂系统,通过采用复杂性科学的系统思维方式,把信息技术和信息系统的研究纳入复杂性研究的系统结构中去。对大型网络化软件系统需求的产生机理进行分析表明,其需求呈现出自适应、群体演化特性,需求获取的整体涌现现象是传统还原论无法解释的。目前,大量 Web 2.0 应用已经充分证明了这一点^[15],针对此种复杂系统及其特性,传统需求获取技术无法适应此类系统,如何寻求新型需求获取技术应对大型网络化软件开发的复杂性态势,如何在软件需求中附加语义信息以利于软件需求的后续自动化随需而动的服务软件按需即时发布,如何根据获取的需求语义聚类分布异域服务资源,如何在需求语义引导下进行服务资源的按需主动定制,正是本书的研究动机和关注点。我们深入探索了相关问题,研究表明:充分利用涉众用户参与和大众智慧,采用社会性软件的协同交互平台如语义 Wiki、RSS/ATOM 等,利用看似简单

的标注功能加演化机制,可有效涌现软件需求描述与需求语义,同时其获取过程是连续的,符合网络化软件随需而变、不断生长的要求。

服务组合主要研究服务流程基本固定情况下,进行异域动态服务的选择、匹配、连接、执行;而服务聚合研究同时涉及变化的流程和分布变化的服务两个动态部分,流程因需求驱动而变,涉众需求采用需求语义封装,因此服务聚合生产顺利进行至少包括需求语义分布式协作获取和需求语义互操作展开(基于语义的服务聚合)两个部分。本书需求语义分布式协作获取部分采用涉众群体智能参与、结合语义 Wiki 以支持需求的演化生长与语义标注,不仅能通过涉众的群体交互协商捕获传统文档性需求,而且依靠需求语义呈现和需求本体诱导的需求元素的语义实例化进行软件需求实体的智能检索、需求一致性验证与推理;通过获取的上层需求语义,服务组合部分选择基于知识(语义)的连接本体作为语义信息载体进行底层服务资源聚类匹配生成网络化软件。

同时,关注面向服务消费者的服务主动定制,传统的以服务提供者为中心的服务供应转换成以用户为中心的服务主动定制生产,对服务聚合中无法有效匹配的服务资源采用 ATOM/RSS 需求订阅和推送技术进行主动定制。

本书旨在瞄准按需服务工程关键技术和方法,遵循“用户主导,面向领域,按需服务”的原则,选取用户需求为出发点和软件生产、定制的切入点,需求语义(需求知识)为用户之需求载体,研究需求语义使能的需求获取、服务软件生产、服务定制。本方法和技术以需求完整性描述为基础模型,是依据模型指导和组织活动开展的需求工程方法。例如,对需求获取来说,这些方法的模型定义确定了所要收集的信息,语义模型建立和完善的过程是组织各次获取行为进行需求获取的过程。以上方法和技术建立在需求工程与知识工程发展的基础上,目的是实现按需服务。需求语义来自涉众,服务聚合动态生成的软件由获取的需求语义驱动,即按需生产;个性化定制的服务资源由需求语义驱

动,即按需定制。

物联网将计算世界与物理世界联系起来,社会网络进一步将计算世界与人类社会社交活动连接起来以提供应用创新,大数据技术旨在解决日益剧增的大量领域和产业相关数据的处理^[182,183],下一步计算学科更高水平的发展必定迈向计算服务化、用户体验式^[173,182,184,185]道路。因此,以服务资源聚合为特征的目前面向云计算之网络化软件^[2]生产中按需服务理论及其相关方法和技术研究具有广阔的应用前景与学科创新机遇。

1.2 拟解决的主要问题和贡献

服务计算已经部分解决服务的表示、注册和组装,目前其知识体主要包括服务软件生命周期的规划、资源生产、服务发布、计费和管理^[150],业界和研究社区普遍关注于服务发现和服务组合技术^[9,11,13,152,174],但对计算的最终目的——按需服务及其相关问题的考虑和研究比较欠缺^[9,11],许多关键问题远未能解决。

互联网分布式系统是通过聚集分布在互联网上的各类资源构建而成的,其根本目的是为了能够更灵活、更敏捷地实现日益复杂的业务需求。服务工程即是采用工程化的方法、技术致力于以服务为基础的网络化软件的生产与演化。传统服务软件生产过程如图 1.2 所示,整个服务软件生产一般分为需求获取与分析、服务建模与服务聚合、服务资源定制生产等几个部分。

按照“用户主导,面向领域,按需服务”的原则重新审视传统服务软件生产,发现有几个关键问题需要解决:

(1) 针对服务资源聚集为特征的网络化软件,用户应该如何描述自己的需求;传统的需求获取手段如面谈、原型、观察等^[16]是否适合目前互联网涉众用户分布全球广域性的特点;需求的描述是否适用于所有领域。