

云计算SaaS服务演化

何 俊 著



科学出版社

云计算 SaaS 服务演化

何 俊 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从服务演化管理的角度,以 Pi 演算和 OWL-S 及其扩展作为形式化工具,较为系统地讨论了云计算环境下 SaaS 软件模式的服务演化相关问题,包括 SaaS 服务演化的概念框架、需求规约形式化描述方法、层间映射规则、需求演化方法、服务流程演化方法、服务增量式演化方法、服务数据演化方法等,并给出相关推理过程和算法。本书还给出了一个服务演化过程的原型系统,并提供案例研究。

本书可作为高等院校计算机相关专业研究生和高年级本科生的参考书,也可供从事云计算、服务计算和软件工程的科技人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

云计算 SaaS 服务演化 / 何俊著. —北京: 科学出版社, 2017.11
ISBN 978-7-03-055185-6

I. ①云… II. ①何… III. ①计算机网络—程序设计
IV. ①TP393.092

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 270313 号

责任编辑: 闫 悦 / 责任校对: 郭瑞芝
责任印制: 张 伟 / 封面设计: 迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京九州迅驰传媒文化有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 11 月第 一 版 开本: 720×1 000 1/16

2017 年 11 月第一次印刷 印张: 11 1/2

字数: 230 000

定价: 65.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

随着信息技术的高速发展,人们迎来了新一轮技术变革。近年来,SaaS 作为云计算的主要服务提供模式之一已成为热点,软件技术也随着云计算的产生和深入应用发生深远变化,并对原有的软件工程理论提出了新的要求。

本书根据云计算 SaaS 模式的“单实例,多租户”、功能可伸缩、按需服务等特性,以租户需求为驱动,阐述 SaaS 服务的演化理论和方法。通过建立 SaaS 服务演化的总体概念框架,采用 OWL-S、Pi 演算及其扩展作为形式化工具,对 SaaS 服务演化的需求规约、需求转换映射、演化操作模型、模型分析、数据演化等进行深入研究,从需求、流程和服务三个层面建立演化过程,并通过原型系统和案例分析帮助读者理解演化过程。

本书的主要内容概括如下。

(1) SaaS 服务演化的总体概念框架。以整体论的思想方法为指导,站在全局的角度设计演化的总体思路,建立以租户需求为驱动的 SaaS 服务演化的分层概念框架,为读者提供框架性指导。

(2) SaaS 服务需求规约的形式化描述及演化方法。对 Web 服务本体描述语言 OWL-S 进行扩展,增加演化位置和演化内容描述,使其可对 SaaS 需求规约进行形式化描述,并建立起 SaaS 服务需求和 OWL-S 的对应关系与描述方法,用 OWL-S 来表示或刻画 SaaS 服务需求规约及演化。识别出 SaaS 服务需求规约中可能存在的冲突类型,给出对应的冲突检测和消解方法。

(3) SaaS 服务流程演化模型。对经典 Pi 演算进行扩展,形式化表示和描述 SaaS 服务流程,并建立服务流程演化模型,对服务流程演化前后的互模拟程度问题,以及模型簇膨胀问题进行描述,给出对应的解决方法。用 Pi 演算验证 SaaS 服务流程的可达性、死锁和活锁问题。

(4) 基于扩展 Pi 演算的 SaaS 增量式服务演化模型。以原子服务为演化的基本单元,建立增量式服务演化模型。针对 SaaS 服务演化多租户环境下的复杂需求,给出增量式服务演化解决方案,解决服务的原子演化操作和操作复合问题,并利用互模拟理论证明复合顺序结果的等价性,以及服务演化的一致性。

(5) SaaS 服务的数据演化方法。主要探索数据模式的演化过程和数据模型的演化方法,以及数据演化的涌现性问题,给出数据演化涌现性的定义和特征,并研究基于信息熵的涌现性度量问题。

通过分析、设计和实现,开发出 SaaS 演化辅助平台,以日志数据库、OWL 解

析引擎及接口、Graph 引擎及接口等为基础，实现演化需求描述图形化表示、日志分析等工具。并通过两个典型案例的分析来说明本书所提出的理论和方法的可行性和实用性。

总之，本书给出一种以租户需求为驱动的 SaaS 服务演化方法，建立该方法的理论体系，指导 SaaS 服务的演化过程，为实现云计算环境下的软件演化提供一种有效途径。

感谢昆明学院对本书出版的大力支持。本书是作者多年来对云计算环境下软件演化理论的研究总结。限于作者的实践范围和理论水平，书中不足之处在所难免，希望读者批评指正。

作 者

2017年8月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 背景介绍	1
1.2 内容和方法概述	2
1.3 原则和范围	4
1.4 本书的主要价值	4
1.5 本书的组织结构	5
1.6 本章小结	6
第 2 章 相关现状综述	7
2.1 SaaS 的发展现状	7
2.1.1 概述	7
2.1.2 SaaS 的优点	8
2.1.3 SaaS 的缺点	9
2.1.4 SaaS 的发展前景	9
2.2 SaaS 的定义和特性	10
2.2.1 SaaS 的定义	10
2.2.2 SaaS 的特性	12
2.3 SaaS 应用分析	12
2.3.1 SaaS 与传统软件应用比较	13
2.3.2 从 SaaS 到互联网+	14
2.4 SaaS 理论研究综述	15
2.4.1 SaaS 理论研究	15
2.4.2 SaaS 演化研究	15
2.5 服务演化研究现状	16
2.5.1 服务的静态演化	16
2.5.2 服务的动态演化	17
2.5.3 Web 服务演化	18
2.5.4 服务组合演化	19
2.5.5 软件在线演化	19
2.6 SaaS 与 SOA 的比较	20
2.7 SaaS 服务演化与 Web 服务演化比较	21

2.8	本章小结	21
第 3 章	形式化工具及扩展	23
3.1	Pi 演算	23
3.1.1	基本概念	23
3.1.2	操作语义	25
3.1.3	行为观察理论	26
3.1.4	Pi 演算建模示例	27
3.2	扩展 Pi 演算	29
3.2.1	操作符	29
3.2.2	标号迁移系统	29
3.2.3	约束和归属关系	30
3.3	OWL-S	30
3.3.1	基本概念	30
3.3.2	基本语法	31
3.3.3	结构描述	33
3.4	扩展 OWL-S	35
3.4.1	支持演化的扩展	36
3.4.2	支持动态的扩展	36
3.5	本章小结	37
第 4 章	SaaS 服务演化概念框架	38
4.1	SaaS 特性分析	38
4.2	SaaS 服务演化基本概念形式化描述	41
4.2.1	服务	41
4.2.2	需求	42
4.2.3	流程	42
4.2.4	SaaS 服务演化	42
4.3	概念框架	43
4.3.1	提出问题	43
4.3.2	构建概念框架	43
4.3.3	需求层	44
4.3.4	流程层	45
4.3.5	服务层	46
4.4	层次间的约束规则	47
4.5	本章小结	48

第 5 章 SaaS 服务需求描述和演化	49
5.1 SaaS 服务需求特征	49
5.2 SaaS 服务需求规约描述	50
5.2.1 需求规约描述语言	50
5.2.2 SaaS 服务需求描述	51
5.2.3 SaaS 服务需求演化描述	52
5.3 OWL-S 到 Pi 演算的映射	53
5.3.1 基本映射关系	53
5.3.2 转换规则	54
5.3.3 复合映射关系	56
5.4 SaaS 服务需求规约演化模型	63
5.4.1 演化机制	63
5.4.2 需求规约演化请求	64
5.4.3 基层模型	66
5.4.4 元层模型	67
5.4.5 需求规约演化模型	67
5.4.6 演化操作过程	68
5.5 需求规约冲突问题	69
5.5.1 冲突类型	70
5.5.2 冲突检测	72
5.5.3 冲突消解	73
5.6 服务层的映射规则	74
5.6.1 服务结构	74
5.6.2 基本活动的映射规则	75
5.6.3 服务单元的映射规则	78
5.7 服务流程层的映射规则	79
5.7.1 概念映射描述	79
5.7.2 原子行为的映射规则	79
5.7.3 流程结构的映射规则	82
5.7.4 异常处理的映射规则	84
5.7.5 事件触发的映射规则	84
5.7.6 事件回滚的映射规则	85
5.8 本章小结	85
第 6 章 SaaS 服务流程演化	86
6.1 服务流程演化过程定义	86

6.1.1	服务流程结构	87
6.1.2	服务流程状态	88
6.1.3	服务流程演化规则	88
6.2	服务流程的 Pi 演算描述	89
6.2.1	服务流程表示	89
6.2.2	服务流程结构描述	90
6.3	服务流程演化模型	92
6.3.1	演化模型	92
6.3.2	演化执行	93
6.4	服务流程互模拟程度分析	95
6.5	服务流程簇膨胀问题	97
6.5.1	问题的产生	97
6.5.2	演化路径和服务流程簇优化	97
6.6	SaaS 服务流程验证	100
6.6.1	可达性	100
6.6.2	死锁	101
6.6.3	活锁	102
6.7	本章小结	103
第 7 章	SaaS 服务增量式演化	104
7.1	SaaS 服务	104
7.1.1	基本概念	104
7.1.2	原子服务描述	105
7.1.3	原子服务通道类型	106
7.1.4	服务基调	107
7.2	增量式服务演化	107
7.2.1	多租户服务	107
7.2.2	服务演化过程	108
7.3	增量式演化模型	109
7.3.1	插入增量演化	109
7.3.2	删除增量演化	112
7.3.3	替换增量演化	114
7.3.4	移动增量演化	115
7.3.5	通道增量演化	118
7.4	演化的复合	120
7.4.1	复合顺序	120

7.4.2 复合行为	122
7.5 服务演化一致性分析	122
7.6 本章小结	124
第 8 章 SaaS 服务数据演化	125
8.1 SaaS 数据模式的演化过程	125
8.1.1 演化策略	125
8.1.2 演化框架	127
8.1.3 演化点选择	127
8.1.4 演化方法	128
8.1.5 演化过程	129
8.1.6 演化结果	130
8.2 SaaS 数据模型演化方法	130
8.2.1 演化框架	131
8.2.2 模型演化相关定义	131
8.2.3 模型演化语义冲突	132
8.2.4 模型演化操作规则	134
8.2.5 演化过程计算	136
8.3 SaaS 数据演化涌现性问题	137
8.3.1 认识数据演化的涌现性	137
8.3.2 SaaS 数据演化的相关定义	139
8.3.3 SaaS 数据演化的涌现性特征	140
8.3.4 涌现性分析过程	141
8.4 SaaS 数据演化涌现性的度量	141
8.4.1 涌现性度量问题	141
8.4.2 求解涌现性的信息熵值的方法	142
8.4.3 演化过程中的误差校正	143
8.4.4 多个涌现性特征的信息熵	143
8.4.5 信息熵的参数求解	143
8.5 本章小结	144
第 9 章 原型系统和案例分析	145
9.1 AEPS 介绍	145
9.1.1 概述	145
9.1.2 系统框架	145
9.1.3 技术开发环境	146

9.2	运行环境	147
9.2.1	演化日志数据库	147
9.2.2	OWL 解析引擎及接口	147
9.2.3	Graph 引擎及接口	147
9.3	辅助工具	148
9.3.1	演化需求描述图形化表示工具	148
9.3.2	演化需求建模工具	149
9.3.3	演化日志分析工具	150
9.4	客户关系管理 SaaS 服务系统案例分析	150
9.4.1	系统介绍	150
9.4.2	服务需求演化	152
9.4.3	服务流程演化	153
9.4.4	服务演化	154
9.4.5	案例评析	156
9.5	政务信息资源目录服务系统案例分析	156
9.5.1	系统介绍	156
9.5.2	服务需求演化	158
9.5.3	服务流程演化	159
9.5.4	服务演化	162
9.5.5	案例评析	162
9.6	本章小结	162
第 10 章	总结和展望	163
10.1	本书内容回顾	163
10.2	本书改进方向	165
10.3	未来需要探索研究的问题	166
10.3.1	云计算的若干问题	166
10.3.2	SaaS 应用中的若干问题	167
10.3.3	Pi 演算和 OWL-S 形式化工具应用若干问题	169
10.4	本章小结	170
参考文献		171

第 1 章 绪 论

随着信息技术的高速发展,人们迎来了新一轮技术变革,云计算应运而生,软件技术也将随着云计算的产生和深入应用发生深远变化,并对原有的软件工程理论提出了新的要求。近年来,SaaS 作为云计算的主要服务提供模式之一已成为研究热点。SaaS 软件同样面临升级演化的问题,但其按需定制、多租户、高质量用户体验等特性对软件演化过程和技术都提出了更高的要求,必须在 SaaS 服务演化的基础理论和技术方面进行深入和系统的研究。

1.1 背景介绍

随着云计算^[1]技术的发展及 Web 应用的成熟,软件即服务 (software as a service, SaaS)^[2]作为云计算的一种应用模式逐渐受到重视,并已逐渐成为企业获取信息技术资源的重要途径之一。与传统软件不同,SaaS 软件由服务提供商负责开发、部署和运维,并支持用户以“使用而不拥有”的方式来租用软件服务。用户通常不需要获得或者购买软件的序列号,也不用在他们的本地机上安装这些软件,只需要连接到互联网上,通过认证登录就可以使用服务提供商的 SaaS 服务。这种模式为软件使用者提供了便捷,大大降低了用户的信息化成本,与此同时增加了软件服务的使用率。此外,SaaS 软件非常典型的一个特征就是“单实例、多租赁”,也就是多个用户共享一个应用实例。虽然不同用户的数据和服务在物理上是共享的,但是在逻辑上它们是完全隔离的。因此对于每个用户来说,他们都会觉得这个实例好像是只为自己服务一样,具有良好的用户体验效果。对中小型企业来说,SaaS 软件是他们利用先进技术的一个便捷途径,也是目前网络应用中最具发展前景的运营模式和未来软件生存的主要形态之一。

由于 SaaS 软件的特点和优势,目前市场已逐步进入快速发展的阶段。美国市场研究机构 AMR 公司的研究报告表明:SaaS 软件与传统软件的增长率相比较,它每年的市场增长率超过了传统软件的 20%,2010 年的市场收入已经增加到 100 亿美元(2006 年的时候还是 15 亿美元)^[3]。《信息周刊》对 250 个企业用户进行了调查和研究,其结果为:有 29%的用户正在通过互联网使用 SaaS,而有 35%的用户计划或正在考虑购买这种服务方式的软件^[4]。在我国,SaaS 将作为今后的主流软件提供模式之一逐步被人们所接受,应用前景广阔,目前已被社会、企业、政府高度重视。国务院 2009 年印发的《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》中,明确将云计算

列为新一代信息技术产业之一,要求推进云计算技术创新,培育新兴服务业态,增强国际竞争能力,带动我国信息产业实现由大到强的转变。尽管如此,SaaS 软件的发展也面临着许多挑战,特别是理论和技术的研究不能适应需求的快速膨胀,大量以传统模式构建的软件无法快速演化为 SaaS 模式,SaaS 软件快速适应需求变化的理论研究还远未成熟。因此,SaaS 的理论研究和创新是一个亟须突破的课题,并已经逐步成为该领域学者和技术人员探索的热点。

与传统软件相同,SaaS 软件同样面临升级演化的问题,但其按需定制和在线演化的特性对软件演化过程和技术都提出了更高的要求。需要对软件的演化粒度进一步抽象,以便降低演化的复杂度,服务作为 SaaS 软件的对外表现形式之一,可作为演化的抽象单元,并以此为基础逐步细化、分层求精。同时,对于用户的高可用性和高服务质量的要求,SaaS 软件必须具有更高的可演化能力和灵活性,以满足不同租户的需求,并将用户需求作为演化的原始驱动力,影响和推动软件的整个演化过程。采用用户需求驱动 SaaS 软件演化必须解决两个问题:①如何对用户需求进行形式化或半形式化分析,使用户需求能比较精确、无二义性地被机器所理解,并对不合理需求进行过滤;②如何使形式化后的用户需求驱动软件演化过程,实现演化需求与演化执行的转换,并且是映射关系。同时需要解决在服务粒度上的一系列演化问题,包括服务演化的策略、方法、模型、验证等问题。但用户需求中不仅涉及某些服务单元的内部变化,而且需要改变服务单元之间的逻辑关系时,需要对服务流程进行演化,并且涉及流程演化过程中的一致性、正确性、完整性等问题。

因此,本书将深入分析 SaaS 软件的特性,从用户需求出发,以服务作为演化的基本单元,采用形式化工具构建演化模式,为 SaaS 软件的快速部署、及时更新提供理论指导,以获得更好的用户体验质量,推动云计算技术和产业的发展。

1.2 内容和方法概述

本书在前人研究的基础上,采用 Web 服务本体描述语言(ontology web language for services, OWL-S)、Pi 演算及其扩展作为形式化工具,以用户需求为驱动,对 SaaS 服务演化的需求形式化、转换映射、演化模型、模型分析等方面进行深入研究,构建一种 SaaS 软件演化和维护的理论和方法。具体内容和方法包括以下几方面。

(1) SaaS 服务演化的概念框架。深入分析 SaaS 软件的特性,以及 SaaS 软件演化与传统软件演化的共同点和区别,研究其演化的实现过程、层次和机理。以系统科学整体论为指导,站在全局的角度研究演化的总体思路,建立以租户需求为驱动的、以服务演化为主线的分层概念框架。该框架是顶层设计,将指导本书后续的研究内容和原型系统的设计与实现。

(2) SaaS 服务需求规约的形式化表示方法。这部分内容是在分层概念框架的指导下展开的。需求变更是 SaaS 服务演化的原始驱动力之一,在面對复杂多变的用户需求时,研究其演化通常是一项比较复杂的工作。为此,本书对 OWL-S 进行扩展,增加演化位置和演化内容描述,使其可对 SaaS 需求规约进行形式化描述,并表示或刻画需求规约的演化过程。

(3) Pi 演算、OWL-S 形式化工具及其扩展。本书以 Pi 演算作为主要的形式化建模工具,充分利用该工具的移动性和观察模拟理论对演化过程进行建模。并基于经典 Pi 演算进行扩展,增加描述非功能需求的特征元组,并增加归属关系和约束等元素,使 Pi 演算具有更强的描述能力。对 OWL-S 进行必要的扩展,增加演化位置和演化内容描述,使其可对 SaaS 需求规约进行形式化描述,并表示或刻画需求规约的演化过程。

(4) 基于 Pi 演算的需求规约演化方法。需求规约演化是整个 SaaS 服务演化过程的起点和驱动力。本书给出了需求规约的演化机制,实现 OWL-S 描述的演化需求文档到 Pi 演算的映射关系和转换方法。将需求演化过程分为可相互作用的基层和元层,通过层间协议实现基层和元层的通信。利用 Pi 演算建立需求规约的演化模型,形式化地定义了演化操作集合和应遵循的规程,并完成需求规约演化前后的冲突检测。

(5) SaaS 服务流程演化研究。服务流程演化是 SaaS 服务演化过程的重要组成部分,是由租户需求演化结果直接驱动的。用扩展 Pi 演算对服务流程进行描述和形式化表示,建立服务流程演化模型,并对服务流程演化前后的互模拟程度、模型簇膨胀问题进行研究。研究用 Pi 演算验证 SaaS 服务流程可达性、死锁和活锁的方法。

(6) 基于扩展 Pi 演算的 SaaS 增量式服务演化。在需求规约演化的驱动下,以服务为演化的基本单元,对服务进行形式化描述和定义,建立增量式服务演化模型,并深入研究原子演化操作和操作复合问题。利用互模拟理论证明演化一致性和复合顺序结果等价性等问题。

(7) SaaS 服务演化辅助平台(aided evolution platform for SaaS, AEPS)。通过分析、设计和实现,开发了 SaaS 服务演化辅助平台,以日志数据库、OWL 解析引擎及接口、Graph 引擎及接口等为基础,实现演化需求描述图形化表示工具、演化需求建模工具、日志分析工具等,辅助租户和管理员完成 SaaS 软件的演化过程。

(8) 通过案例研究验证本书的理论方法。通过两个案例的分析和应用说明本书研究内容和方法的实用性和可行性。选取的案例分别是在面向企业的 SaaS 服务领域具有代表性的客户关系管理系统 SaaS 和 SaaS 接口服务的典型代表政务目录服务系统。客户关系管理 SaaS 服务系统是一个以功能服务演化为主的代表性案例;政务信息资源目录服务系统是一个接口调用服务应用的典型应用案例,案例说明了本书研究的需求驱动下的 SaaS 服务演化方法是可行和实用的。

1.3 原则和范围

为使本书的内容和结论达到预期目标,使本书的内容深入、有效,并有的放矢地取得实用、正确的成果,给出本书的范围和依据。

本书的理论和观点遵循以下原则。

(1) 开创性原则。在前人成果的基础上,对 SaaS 服务演化方面的研究应具有独立的研究成果,发展和解决该领域的重大问题,并且形成完整、系统的小研究体系。

(2) 深度原则。本书需要在该领域达到一定的理论深度,深入探索所讨论问题的本质,结论具有一般性和普遍性。

(3) 结论正确性原则。必须保证内容的前后一致性、引用的可靠性和结论的正确性,通过证明其正确性或实践说明结论的可信性来表明所使用的方法和算法是优越的。

(4) 实用性原则。本书给出的成果需具有实际应用价值和意义,为解决现实生活中的某些问题作出阐述。

本书主要围绕下面的问题展开讨论。

(1) 如何解决租户需求规约的演化问题?

(2) 如何对形式化工具进行必要的、合理的、正确的扩展?

(3) 如何实现租户需求规约到 Pi 演算的正确映射?

(4) 如何建立 SaaS 服务流程的演化模型? 如何进行模型验证或检测?

(5) 如何建立 SaaS 服务的演化模型? 如何进行模型验证或检测?

(6) 如何实现可用的原型系统或使用完整案例说明本书的实用性和价值?

1.4 本书的主要价值

本书的价值主要体现在以下几方面。

(1) 定义了 SaaS 服务演化的概念框架。站在全局的角度研究 SaaS 服务演化的总体思路,建立以租户需求为驱动的 SaaS 服务演化分层概念框架。

(2) 解决了 OWL-S 描述的需求规约到 Pi 演算的映射问题。实现 OWL-S 描述的演化需求文档到 Pi 演算的映射关系和转换方法,建立租户需求到服务和流程的映射机制。

(3) 根据需要对经典 Pi 演算进行扩展,解决非功能需求描述问题。对 Pi 演算进行扩展来描述非功能需求,并增加归属关系和约束等元素,使 Pi 演算具有更强的描述能力。

(4) 建立了服务流程和增量式服务演化模型,解决了多租户环境下的 SaaS 服务

演化问题。增量式服务演化是 SaaS 服务演化过程的重要组成部分。本书用扩展 Pi 演算对服务演化过程进行描述和形式化表示，建立服务演化操作模型。

1.5 本书的组织结构

本书共 10 章。第 1 章为绪论；第 2 章为相关现状综述，总结前人研究成果；第 3 章对形式化工具介绍并进行必要的扩展，为后续章节做好工具准备；第 4 章以整体论为指导建立演化概念框架，作为后续章节的导引；第 5~7 章是本书的核心内容，从需求、流程和服务三个层面对 SaaS 服务演化问题进行深入阐述，是本书建立模型和解决问题的主要章节；第 8 章介绍数据演化，对概念、特征和涌现性进行探索；第 9 章基于之前章节的结论开发系统原型，辅助演化过程的实施，并给出两个应用案例；第 10 章进行总结，小结本书的不足之处，并提出展望，指引读者进行深入思考。本书结构及各章节的关系如图 1.1 所示。

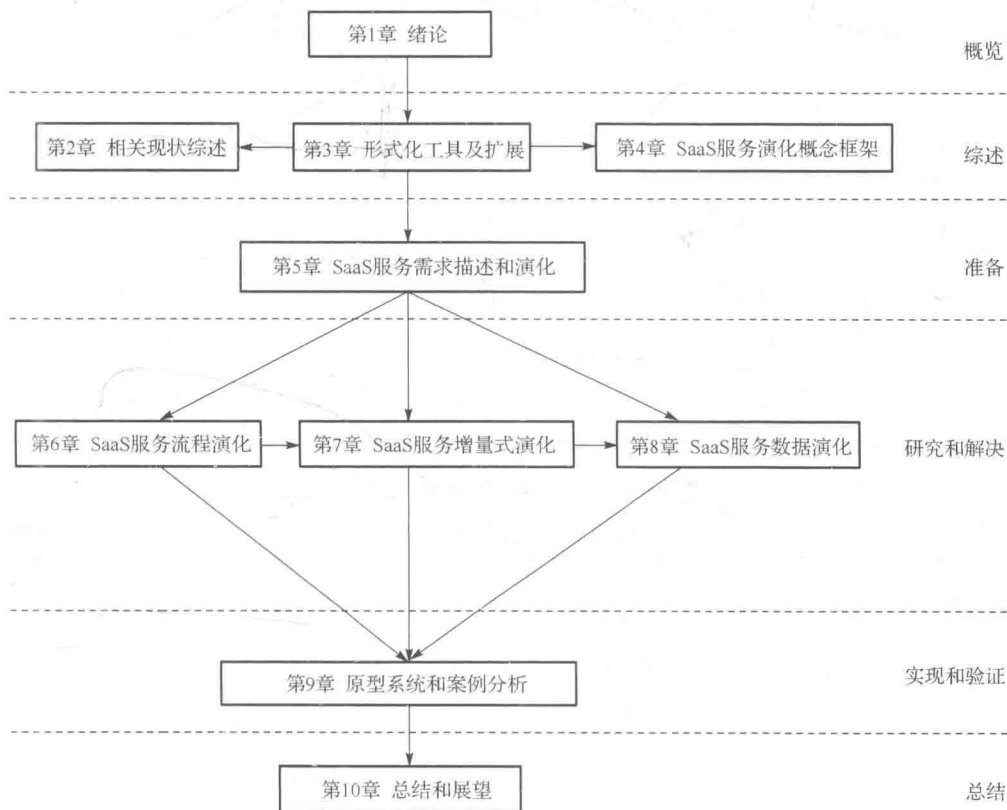


图 1.1 本书组织结构图

1.6 本章小结

本章作为绪论，综述性地概览全书和总结研究要点，起到提纲挈领和穿针引线的重要作用。本章对云计算的发展及 SaaS 模式软件的应用前景进行分析，同时介绍 SaaS 模式软件演化领域的研究背景，提出本书研究的主要内容和研究采用的理论方法，并给出原则和范围，提取出本书的主要价值，对本书的组织结构进行了简单的概括，为后面章节展开论述做好铺垫。