

Web服务QoS监控和预测技术

张鹏程 王继民 赵和松 著



科学出版社

Web 服务 QoS 监控和预测技术

张鹏程 王继民 赵和松 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书从 Web 服务质量的监控和预测技术两个方面着手,系统而全面地介绍服务质量的动态管理技术,为终端用户提供满意的 Web 服务。全书共 13 章。第 1 章介绍 Web 服务和 Web 服务质量的基础知识。第 2 章介绍 Web 服务监控和预测的一般思想与研究现状。第 3 章~第 6 章介绍各种 Web 服务质量的监控方法,包括基于贝叶斯统计、加权朴素贝叶斯、结合信息增益和滑动窗口机制及多元的监控方法。第 7 章~第 11 章介绍各种 Web 服务质量的预测方法,包括基于贝叶斯组合预测模型、径向基神经网络、贝叶斯网络模型和深度学习的服务 QoS 预测方法。第 12 章和第 13 章介绍 Web 服务监控和预测的原型工具。

本书可供软件工程学科专业的教师、研究生和高年级本科生,以及从事 Web 服务相关工作的研究和工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

Web 服务 QoS 监控和预测技术/张鹏程,王继民,赵和松著. —北京:科学出版社,2017.11

ISBN 978-7-03-054974-7

I. ①W… II. ①张… ②王… ③赵… III. ①Web 服务器—研究 IV. ①TP393.09

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 262107 号

责任编辑:闫 悦 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:张 伟 / 封面设计:迷底封装

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:720×1000 1/16

2017 年 11 月第一次印刷 印张:19 1/4

字数:378 000

定价:108.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着互联网的快速发展,网络上出现了众多功能相似而服务质量(Quality of Service, QoS)不同的 Web 服务。如何在动态多变的环境下,在线对 Web 服务的 QoS 进行动态的评估,从而为终端用户提供满意的 Web 服务,是该领域近年来的研究热点。本书作者近年来在 Web 服务 QoS 的动态评估方面做了大量基础性的工作,也取得了一系列研究成果,具体描述如下。

在 Web 服务 QoS 监控方法方面,创新性地提出了基于贝叶斯统计的 Web 服务 QoS 监控方法;针对环境因素对监控结果的影响,提出了一种基于加权朴素贝叶斯算法的 QoS 监控方法;针对监控的权值无法动态更新的问题,提出了一种结合信息增益和滑动窗口机制的 Web 服务 QoS 动态监控方法;针对现有的 QoS 监控方法几乎只考虑单个 QoS 指标,无法满足用户满意度要求这一问题,提出了一种基于信息融合的多元 QoS 监控方法。

在 Web 服务 QoS 预测方法方面,针对目前的 QoS 预测算法未考虑高度的动态性,预测精度不能持续保证的问题,提出了基于贝叶斯组合预测模型对服务质量进行预测的方法和基于径向基神经网络的 Web 服务 QoS 组合预测技术;针对云服务 QoS 动态多变的特点,提出了基于贝叶斯网络模型的云服务 QoS 预测技术;另外,还将最新的深度神经网络算法应用到 QoS 预测中,提出了基于深度学习的 Web 服务 QoS 预测方法,提高了预测精度。

在理论研究的基础上,还开发了支持 Web 服务监控的原型工具和支持 Web 服务预测的原型工具,并给出了这些工具具体的应用实例。

为此,有必要系统地写一本书,以便和国内外同行分享研究经验和教训,也希望通过这本书架起国内外同行学者之间相互了解和交流的桥梁。

本书共 13 章,河海大学的王继民参与了本书第 2 章和第 8 章内容的撰写;水利部水文局(水利信息中心)的赵和松参与了本书的第 10 章、第 12 章和第 13 章的撰写;全书的组织架构和其余章节由河海大学的张鹏程负责设计和撰写。本书相关成果在研究过程中得到了国家科技支撑计划项目(编号:2015BAB07B01)、国家自然科学基金(编号:61572171、61202097)和河海大学中央高校基本科研业务费(编号:B15020191)的支持,在此一并表示感谢。

本书在写作过程中得到了河海大学计算机与信息学院的老师和同学的大力支持。他们是朱跃龙教授、冯钧教授、万定生教授、李士进教授、胡鹤轩副教授、余

宇峰副教授、陆佳民博士、张云飞博士、吉顺慧博士，硕士生武晓斌、刘千、徐美君、成艳、孙朋姣、余俊、刘宗磊、庄媛、肖艳、周宇鹏、曾金伟、韩晴、孙颖桃、张馨元、何宏丽、张雷、刘琪、王丽艳、江艳、王韬、龚亚丽、程坤、周学武、熊芳等。特别感谢 2017 级研究生金惠颖参与了大量的文字编辑工作。

感谢我的硕士导师朱跃龙教授、博士导师李必信教授、博士后合作导师李宣东教授，感谢他们一直以来对我的关心和照顾，正是有了他们的鼓励，此书才得以诞生。

尽管本书作者在撰写过程中尽了最大的努力，但由于水平、精力有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者批评指正。也欢迎读者针对本书中的观点和我们展开学术交流与讨论，以期进一步完善本书提出的理论、方法和工具。

张鹏程

2017 年 6 月于南京

目 录

前言

第 1 章 Web 服务技术概述	1
1.1 面向服务计算与面向服务架构	1
1.2 Web 服务和 Web 服务质量	2
1.3 本书的主要贡献	4
1.4 本书的章节安排	5
参考文献	9
第 2 章 Web 服务 QoS 监控和预测技术综述	11
2.1 运行时监控技术	11
2.1.1 运行时监控一般过程	11
2.1.2 运行时监控与传统验证模型检验技术的比较	12
2.2 Web 服务 QoS 监控技术研究现状	13
2.2.1 传统 Web 服务 QoS 相关监控技术	13
2.2.2 概率监控方法	13
2.3 Web 服务 QoS 预测技术	15
2.4 Web 服务 QoS 预测技术研究现状	16
2.4.1 基于相似度的预测方法	16
2.4.2 基于人工智能的预测方法	18
2.4.3 基于时间序列的预测方法	19
参考文献	19
第 3 章 基于贝叶斯统计的 Web 服务 QoS 监控方法	22
3.1 引言	22
3.2 概率时态逻辑 PLTL ₃	22
3.3 贝叶斯统计监控	24
3.3.1 基本原理	24
3.3.2 算法实现	27
3.4 实验及结果分析	30
3.5 本章小结	35
参考文献	35

第 4 章 环境因素敏感的 Web 服务 QoS 监控方法 wBSRM	36
4.1 引言	36
4.2 预备知识	37
4.2.1 加权朴素贝叶斯分类器	37
4.2.2 二项分布的经验贝叶斯估计	38
4.2.3 TF-IDF 算法	39
4.3 一种考虑环境因素影响的 Web 服务 QoS 监控方法	40
4.3.1 方法概述	40
4.3.2 核心算法	42
4.4 实验及结果分析	45
4.4.1 实验环境配置	45
4.4.2 实验结果与分析	46
4.5 本章小结	53
参考文献	54
第 5 章 结合信息增益和滑动窗口的 Web 服务 QoS 监控方法	56
5.1 引言	56
5.2 预备知识	57
5.2.1 信息熵与信息增益	57
5.2.2 结合信息增益的改进 TF-IDF 加权	58
5.3 一种时效感知的动态加权 Web 服务 QoS 监控方法 IgS-wBSRM	59
5.3.1 IgS-wBSRM 方法引入与概述	59
5.3.2 IgS-wBSRM 方法实现	61
5.4 实验及结果分析	65
5.4.1 实验数据集及环境配置	66
5.4.2 自定义模拟数据集下的实验分析与验证	66
5.4.3 真实数据集下的实验分析	69
5.4.4 时间效率分析	71
5.5 本章小结	72
参考文献	73
第 6 章 一种基于信息融合的多元 QoS 监控方法	75
6.1 引言	75
6.2 基于信息融合的多元 QoS 监控方法	76
6.2.1 数据预处理	77
6.2.2 计算特征因子分类倾向性	78
6.2.3 基于特征因子与分类的相关性的贝叶斯分类器模型	79

6.2.4 算法描述	79
6.3 实验及结果分析	80
6.3.1 实验设置	80
6.3.2 实验结果分析	83
6.3.3 时间效率分析	86
6.4 本章小结	87
参考文献	87
第 7 章 基于组合贝叶斯模型的 Web 服务 QoS 预测方法	89
7.1 引言	89
7.2 贝叶斯组合模型	89
7.2.1 时间序列特征识别	90
7.2.2 组合预测基本原理	90
7.3 基本模型	91
7.3.1 基于小波分析的 ARMA 模型	92
7.3.2 小波神经网络	95
7.3.3 ARIMA-GARCH 模型	97
7.3.4 K-近邻预测模型	99
7.3.5 RBF 神经网络模型	99
7.3.6 多元回归分析模型	100
7.4 模型评估标准	101
7.4.1 预测模型精度评估	101
7.4.2 预测模型有效性评估	102
7.5 实验及结果分析	104
7.6 本章小结	113
参考文献	113
第 8 章 基于径向基神经网络的 Web 服务 QoS 组合预测方法	115
8.1 引言	115
8.2 预备知识	116
8.2.1 灰色预测	116
8.2.2 遗传算法	117
8.2.3 检验方法	118
8.3 Web 服务 QoS 组合预测方法	120
8.3.1 方法概述	120
8.3.2 基于 K-S 检验的时间序列模型	121
8.3.3 改进的 GM(1,1)动态预测模型	126

8.3.4	HGA-RBFC 模型	128
8.4	实验及结果分析	134
8.4.1	软硬件环境	134
8.4.2	实验设置	134
8.4.3	实验结果与分析	139
8.5	本章小结	152
	参考文献	152
第 9 章	基于深度学习模型的 Web 服务 QoS 预测方法	154
9.1	引言	154
9.2	预备知识	155
9.2.1	深度神经网络模型	155
9.2.2	小波变换	158
9.2.3	神经网络性能优化	159
9.3	基于深度学习的 Web 服务 QoS 预测方法研究	161
9.3.1	方法概述	161
9.3.2	数据预处理	163
9.3.3	改进的粒子群算法	168
9.3.4	粒子群算法改进的 DBN 预测模型	172
9.3.5	GPU 加速计算	175
9.4	实验及结果分析	176
9.4.1	软硬件环境	176
9.4.2	实验设置	176
9.4.3	实验结果与分析	180
9.5	本章小结	188
	参考文献	188
第 10 章	基于贝叶斯网络模型云服务 QoS 预测方法	190
10.1	引言	190
10.2	预备知识	191
10.2.1	BP 神经网络预测模型	191
10.2.2	算术平均值预测模型	192
10.2.3	贝叶斯网络预测模型	193
10.3	云服务 QoS 预测方法	194
10.3.1	方法概述	194
10.3.2	方法流程	195
10.4	实验及结果分析	206
10.4.1	实验软硬件环境	206

10.4.2	实验工具箱	207
10.4.3	验证方案	208
10.4.4	实验设置	209
10.4.5	实验结果与分析	211
10.5	本章小结	219
	参考文献	219
第 11 章	基于多元时间序列的 Web 服务 QoS 预测方法	221
11.1	引言	221
11.2	预备知识	223
11.2.1	相空间重构	223
11.2.2	LM 算法	224
11.3	一种基于多元时间序列的 Web 服务 QoS 预测方法	225
11.3.1	数据收集和预处理	225
11.3.2	LM 算法改进的 RBF 神经网络预测模型	227
11.4	实验及结果分析	231
11.4.1	实验设置	231
11.4.2	实验过程	232
11.4.3	实验结果与分析	233
11.5	本章小结	239
	参考文献	239
第 12 章	Web 服务 QoS 监控工具	242
12.1	引言	242
12.2	Web 服务 QoS 监控工具的设计	243
12.2.1	Web 服务 QoS 监控工具的整体设计	243
12.2.2	Web 服务 QoS 监控方法的详细设计	246
12.2.3	Web 服务 QoS 监控工具的数据形式	249
12.2.4	Web 服务 QoS 监控工具界面	250
12.3	Web 服务 QoS 监控工具的实现	251
12.3.1	开发环境及工具	251
12.3.2	Web 服务 QoS 监控工具的程序结构	252
12.3.3	Web 服务 QoS 监控工具的数据结构	252
12.3.4	Web 服务 QoS 监控方法的实现与分析	253
12.3.5	Web 服务 QoS 监控工具的 Web 端实现	260
12.3.6	不同监控方法的比较与分析	261
12.4	本章小结	266
	参考文献	266

第 13 章	Web 服务 QoS 预测工具	267
13.1	引言	267
13.2	Web 服务 QoS 预测工具的设计	268
13.2.1	Web 服务 QoS 预测工具架构	268
13.2.2	Web 服务 QoS 预测工具整体设计	269
13.2.3	Web 服务 QoS 预测数据形式	270
13.2.4	Web 服务 QoS 预测工具的功能结构	271
13.2.5	Web 服务 QoS 预测工具界面设计	272
13.2.6	预测模块的详细设计	274
13.3	Web 服务 QoS 预测工具的实现	278
13.3.1	开发平台及工具	278
13.3.2	工具的程序结构	278
13.3.3	工具的客户端和服务端实现	280
13.3.4	主要功能模块的实现	282
13.3.5	工具测试与分析	291
13.4	本章小结	298
	参考文献	298

第 1 章 Web 服务技术概述

本章从总体上介绍面向服务的计算和面向服务架构的基本概念，并引出了 Web 服务和 Web 服务质量的概念。在对相关的技术进行介绍后，还给出了本书的主要贡献和章节安排。

1.1 面向服务计算与面向服务架构

纵观软件技术发展的历史，即从起初的个人作坊、面向过程的结构化方法、面向对象的开发方法到面向构件的开发方法，这些开发方法无不对软件技术的发展产生了深远的影响。在个人作坊阶段，程序设计仅是一种发挥创造才能的活动，程序往往被称为只是少数人编写的“艺术品”。面向过程的结构化方法^[1]，强调数据结构、程序模块化结构等特征，从而大大提高了程序的可读性。伴随着结构化软件技术而出现的软件工程方法（包括计算机辅助软件工程（Computer Aided Software Engineering, CASE）工具）^[2]，使得软件开发的工作范围从只考虑程序的编写扩展到整个软件生命周期（包括需求分析、设计、实现、验证和确认、运行和维护）。由此，软件由个人作坊的“艺术品”变为团队的工程商品。面向对象（Object-Oriented, OO）的方法^[3]在很大程度上提高了软件的易读性、可维护性、可重用性，进一步使得从软件分析到软件设计的转变非常自然，从而大大降低了软件开发的成本。另外，通过有效地重用 OO 技术开辟了提高软件生产率的新篇章。之后，面向构件技术^[4]的出现实现了软件产业向工业化生产的飞跃，带来了新的契机。同样，由于网络和分布式应用的广泛发展与应用，面向服务的计算（Service-Oriented Computing, SOC）^[5]和面向服务的体系架构（Service-Oriented Architecture, SOA）^[6]应运而生，这是对传统的软件开发技术的改进，势必会对软件技术发展历程产生深远的影响。

随着网络和分布式计算的快速发展，现代企业的软件开发面临的挑战是快速改变的市场条件、企业外部环境的不断变化、企业内部的结构不断调整等。现代企业只有快速地适应这些多变的需求，才能紧跟时代的步伐，在激烈的市场竞争环境中立于不败之地。所以传统的“一次性”软件开发方式显然不能满足这种快速增长和多变的需求。而如何解决企业应用所面临的挑战是当今软件界的焦点问题之一。SOC 和 SOA 的提出为解决这一难题提供了新型的计算模式和软件开发方法。

SOC 以服务为基础来支持快速、低成本地开发可组合的分布式应用^[5]，其中，服务是自治的、平台独立的计算实体。服务可以完成基本的功能，也可以通过组合

已有的服务来完成复杂的功能。通过描述、发布、发现和动态地组合服务从而形成规模更大的系统,该系统具有分布式、互操作性、重用性、可扩展性和动态演化速度快等特点^[6]。根据服务的思想,软件系统中任何代码或任何构件都能够被重复使用,并封装为网络上可使用的服务。这体现了“面向服务”的编程方法的核心思想,即通过发现和调用网络上已有的服务来组合新应用而不是通过自己编写新的程序来实现这些应用。一般而言,服务都以独立于其使用的方式被开发,这使得服务提供者和请求者是以松耦合的方式连接的。

SOA 是一种基于 SOC 的设计方式,在服务的生命周期(从需求分析、设计、实现、预发布、运行到演化)中,指导着服务的创建和使用的方方面面。SOA 也是一种定义和提供信息技术(Information Technology, IT)基础设施的方式,允许分布式应用之间交互数据、参与业务过程,而不管分布式应用是基于何种操作系统或采用何种编程语言。

当前一些研究组织和世界著名大学都深入地研究了 SOC 和 SOA,研究人员不断地提出新的面向服务的基础理论、方法和应用。以面向服务的计算和面向服务的软件开发为主题的国际会议(conference)、研讨会(symposium),著名的如 ICWS (International Conference on Web Service)、SCC (Service Computing Conference)、ICSOC (International Conference on Service Oriented Computing)和 SOSE (Service Oriented Software Engineering)等。同时,各大学术团体和标准化组织,如结构化信息标准促进组织(Organization for the Advancement of Structured Information Standards, OASIS)、万维网联盟(World Wide Web Consortium, W3C)也不断推出 SOA 相关技术标准和规范,如 WSDL (Web Service Definition Language)^[7]、UDDI (Universal Description, Discovery and Integration)^[8]、WS-BPEL (Web Service Business Process Execution Language)^[9]、WS-CDL (Web Service Choreography Description Language)^[10]、SLA (Service Level Agreement)^[11]和 WS-Agreement^[12]等。

在工业界,Web 服务技术也逐渐成为当前 SOA 实现的主流方式,包括 IBM、微软、BEA 等在内的全球知名企业和各大研究机构都在通力合作,促进 Web 服务技术的发展和成熟。总之, SOC 和 SOA 是软件技术发展的新的里程碑,是继面向对象和面向构件的编程思想以来一种变革性的软件开发技术。实践证明, SOC 和 SOA 将对软件技术的发展以及企业的 IT 架构带来巨大的影响。

1.2 Web 服务和 Web 服务质量

Web 服务体系结构如图 1-1 所示,包括三种角色之间的交互,即服务提供者、服务注册中心、服务请求者。交互就是指发布、发现和绑定操作^[6]。Web 服务提供者利用 WSDL 描述 Web 服务,Web 服务请求者通过 UDDI 来发现服务,两者之间

的通信使用简单对象访问协议 (Simple Object Access Protocol, SOAP)^[13]。Web 服务注册中心的作用是把 Web 服务请求者与合适的 Web 服务提供者联系起来。同时, 图 1-1 显示了 Web 服务角色之间的交互关系。其中, 发布是为了让用户或其他服务知道某个 Web 服务的存在和相关信息; 发现是为了找到合适的 Web 服务; 绑定是在提供者与请求者之间建立某种关系。

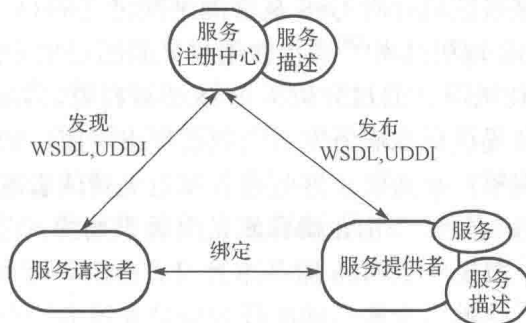


图 1-1 Web 服务体系结构

国际质量标准 ISO 8402 定义的质量为“一个产品或者服务能够满足规定和潜在需求的特征与特性的总和”。而 Web 服务中的 QoS^[14]是一组非功能属性的集合, 它用来描述 Web 服务在功能以外的属性。对 QoS 的研究主要集中在如何使用 QoS 来描述一个系统, 以及如何将这些系统自身的 QoS 数值表达给资源管理者以满足系统理论上所需的 QoS 需求或通过设定一定的需求规定来帮助用户作出合适的服务选择。QoS 中的属性表征了 Web 服务某一方面的质量信息, 具有一个属性值, 该值反映了 Web 服务在此方面给用户的使用体验。

随着 SOC 技术在系统开发中的应用普及, Web 上出现了各种各样功能相同或相近但其 QoS 却有很大差别的 Web 服务, 因此, 如何选择一个适合自己系统的服务在很大程度上受其 QoS 的影响。而 Web 服务是通过网络获取的, 其 QoS 易受到网络环境、服务器负载等因素的影响, 会出现周期性、短暂性的服务质量变化的情况^[15-17]。

在许多应用场景中, 一个完整的 Web 服务由许多不同的服务组合而成, 其本身也许只有核心功能由自己开发, 而非核心功能将使用 Web 上的其他服务。但是 Web 上充满了大量功能相同的服务, 如何选择最适合自身系统的服务, 或者当一个组合系统中某一服务发生失效时如何选择替代服务, 正成为 SOC 领域需要解决的关键问题之一。面向服务系统的执行能力以及 QoS 越来越依赖于第三方提供的服务, 然而在复杂多变的 Internet 环境中, 这种对于第三方服务的依赖会带来不确定的问题, 如服务组件接口变化、组件自身变化、某个组件提供的功能或者非功能特性与预先声明不同等服务内在因素变化以及动态选择发生变化, 网络资源不足、通信模式的变化、基础构造失效的影响等外在环境变化, 都会对服务质量产生严重影响, 这些

变动甚至是故障使得系统难以提供稳定的服务,使得服务无法满足 QoS 需求。因此,面向服务系统需要进行运行时监控,对 Web 服务实现质量控制,以提高鲁棒性和应对失效发生的能力。

Web 服务 QoS 监控技术^[18]是指在线收集 Web 服务运行时的 QoS 数据,并用来判断是否满足预定义的质量属性。通常情况下可以采用数值计算、基于统计的方法和基于贝叶斯的方法来监控运行时 QoS 是否满足预定义的 QoS 属性。

在线 Web 服务 QoS 预测技术^[19]通常使用收集到的历史 QoS 数据集来预测未来一段时间内 QoS 的变化情况。通过分析历史 QoS 观察值,Web 服务 QoS 预测技术通过预测可以帮助服务提供商在服务发生失效前作出反应,选择出正确的候选服务或者对现有服务作出调整,从而防止这些服务发生失效或者减少由于服务失效而产生的影响。能够对 QoS 属性值作出正确预测是至关重要的,它能够帮助一个系统采取正确的自适应措施。如果一个 Web 服务本身没有故障,而预测出了故障,则会产生多余的自适应行为。这种多余的自适应行为会带来很多缺点。第一,多余的自适应是昂贵的。例如,系统将有可能根据预测结果从备选服务中选择一个满足 SLA 准则的服务进行替代,而这属于附加的行为;也有可能导致系统进行一个代价更大的操作。第二,多余的自适应行为有可能是错误的,导致系统产生服务问题。第三,执行自适应是需要花费时间的,也就是说在最坏情况下,如果进行多余的自适应则可能致使没有足够的时间去解决真正的错误。另外,如果一个 Web 服务发生错误,而方法并未能及时预测,将导致系统有可能需要花费一定的代价进行修复活动。由此可以看出,一个 Web 服务预测方法得到的结果是否有效具有很大意义。

1.3 本书的主要贡献

本书的主要贡献包括五个方面,具体描述如下。

(1) 综述了现有的 Web 服务 QoS 监控方法和 Web 服务 QoS 预测方法。

(2) 结合本书作者近几年在 Web 服务 QoS 监控方面的研究成果,介绍了一系列 Web 服务 QoS 监控方法。包括基于贝叶斯统计的 Web 服务 QoS 监控方法^[20,21]、考虑环境因素影响的结合 TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) 的加权朴素贝叶斯监控方法^[22-24]、考虑样本动态更新的结合信息增益和滑动窗口的加权朴素贝叶斯监控方法^[25]和考虑多 QoS 融合的监控方法。

(3) 结合本书作者近几年在 Web 服务 QoS 预测方面的研究成果,介绍了一系列 Web 服务 QoS 预测方法。包括基于贝叶斯组合模型的 Web 服务 QoS 预测关键技术^[21]、基于径向基神经网络的 Web 服务 QoS 预测技术^[26,27]、基于贝叶斯网络模型的云 Web 服务 QoS 预测技术^[28,29]和基于深度学习的 Web 服务 QoS 预测技术^[30]。

(4) 在理论研究的基础上,开发了支持 Web 服务监控的原型工具^[31]。该工具集

成了目前常用的 Web 服务 QoS 监控方法,包括基于传统思想的 Chan 监控方法、基于假设检验思想的 SPRT (Sequential Probabilistic Ratio Test) 监控方法和 ProMo 监控方法、基于贝叶斯思想的改进的贝叶斯运行时监控方法 (Improved Bayes Statistical Runtime Monitoring, iBSRM) 和带权贝叶斯运行时的监控方法 (Weighted Naive Bayes Statistical Runtime Monitoring, wBSRM) 等。

(5) 开发了支持 Web 服务预测的原型工具^[32]。该工具集成了目前多个 Web 服务 QoS 预测方法,包括差分自回归移动平均 (Auto-regressive Integrated Moving Average, ARIMA) 模型预测方法、基于滑动窗口的 ARIMA 模型预测方法、BP (Back-Propagation) 神经网络预测方法、径向基 (Radial Basis Function, RBF) 神经网络预测方法和灰度模型 GM(1,1) 预测方法,组合模型预测方法包括基于 BP 神经网络的 ARIMA 和灰度组合模型预测方法以及基于径向基神经网络 (Radial Basis Function Neural Network, RBFNN) 的 ARMA 和灰度组合模型预测方法等。

1.4 本书的章节安排

第1章从总体上介绍面向服务的计算和面向服务架构的基本概念,并引出 Web 服务和 Web 服务质量的概念。最后给出本书的贡献和章节安排。

第2章描述 Web 服务 QoS 监控技术的基本思想,然后综述现有的典型 Web 服务 QoS 监控方法,包括传统的 Web 服务 QoS 监控方法和新近的概率监控方法,并分析现有研究存在的问题。接着描述 Web 服务 QoS 预测技术的基本思想。最后综述现有的典型 Web 服务预测方法,包括基于相似度的 Web 服务 QoS 预测方法、基于人工智能的 Web 服务 QoS 预测方法和基于时间序列的 Web 服务 QoS 预测方法。

第3章提出基于贝叶斯统计的 Web 服务 QoS 监控方法^[20,21]。针对目前存在的概率监控方法通过估算概率值与预定的概率标准进行比较,缺乏统计分析论证;或基于传统的假设检验,如 SPRT,某些情况下方法会失效,且整个监控过程中,监控概率标准必须为常量的问题,提出一种基于贝叶斯统计的概率监控方法 BaProMon。该方法根据 Web 服务 QoS 运行时监控信息和贝叶斯统计原理,计算贝叶斯因子,进行假设检验。为了采用合适的概率时态逻辑来表示概率特性,还对概率线性时态逻辑 (Probabilistic Linear Temporal Logic, PLTL) 进行拓展,提出三值概率线性时态逻辑 (3-valued Semantic Probabilistic Linear Temporal Logic, PLTL₃),用真、假和不确定来表示 PLTL₃ 公式值。

第4章考虑环境因素,提出基于加权朴素贝叶斯的 Web 服务 QoS 监控方法^[23,24]。wBSRM 的 Web 服务 QoS 监控方法,受机器学习分类方法的启发,通过 TF-IDF 算法计算环境因素的影响,通过对部分样本进行学习,构建加权朴素贝叶斯分类器。将监控结果分类,满足 QoS 标准为 c_0 、不满足 QoS 标准为 c_1 ,监控时调用分类器

得到 c_0 和 c_1 的后验概率之比, 对比值进行分析可得监控结果满足 QoS 属性标准、不满足 QoS 属性标准和不能判断这三种情况。在网络开源数据以及随机数据集上的实验结果表明: 利用 TF-IDF 算法能够准确地估算环境因子权值, 通过加权朴素贝叶斯分类器能够更好地监控 QoS, 效率显著优于现有方法。

第 5 章提出一种时效感知的动态 Web 服务 QoS 监控方法^[25]。该方法在传统加权监控方法中融入了滑动窗口机制和信息增益原理, 简称 IgS-wBSRM (Information Gain and Sliding Window based Weighted Naive Bayes Statistical QoS Runtime Monitoring)。方法以一定的初始训练样本进行环境因素权值初始化, 利用信息熵 (Information Entropy, IE) 及信息增益 (Information Gain, IG) 对样本所处混沌状态的确定作用, 依次读取样本数据流, 计算样本数据单元出现前后各影响因子组合的信息增益, 结合 TF-IDF 算法对早期初始化权值进行动态更新, 修正传统算法对监控分类的类间分布偏差问题和参数未更新问题。另外, 考虑训练样本数据的时效性, 结合滑动窗口机制来对影响因子组合权值进行同步更新, 以消解长期累积的历史冗余数据对近期服务 QoS 的影响。在模拟数据集和开源数据集上的实验结果表明: 利用滑动窗口机制可以有效摒弃历史数据的过期信息, 结合滑动窗口机制实现的基于信息增益的动态权值算法能够更加准确地监控 Web 服务 QoS, 总体监控效果明显优于现有方法。

第 6 章提出一种基于信息融合的多元 QoS 监控方法。首先, 建立多元 QoS 模型, 由于不同的 QoS 指标的计量单位不一样, 方法对不同的 QoS 属性数据先进行归一化处理, 再使用信息融合方法将多个 QoS 属性样本融合为综合 QoS 数据样本。提取样本的特征因子, 通过点互信息计算特征因子的分类倾向, 构造加权贝叶斯分类器。在网络开源数据集以及模拟数据集上的实验结果表明, 该方法与现有方法相比监控效果显著提高。

第 7 章提出一种基于组合贝叶斯模型的 Web 服务 QoS 预测方法^[21]。针对目前的 QoS 预测算法, 要么未考虑 Web 服务高度的动态性, 要么建立的预测模型仅在特定的适用场合和时段预测精度良好, 但不能持续保持优良的预测性能的问题, 提出贝叶斯组合预测模型对服务质量进行预测, 该方法首先对时间序列特征进行识别, 根据识别结果选取合适的基本预测模型, 对已选取的模型进行训练, 然后使用预测—权值调整—预测的循环结构进行预测。在预测的过程中, 通过不断调整基本预测模型权重的方式使结果逼近预测效果最好的模型, 保持相对优良的预测精度。为了验证预测效果, 对响应时间、吞吐量、可靠性等 QoS 属性进行预测, 并且采用精度分析和有效性评估两种方式对实验结果进行比较。实验表明, 不同特征的时间序列样本下, 贝叶斯组合预测模型能保持较高的预测精度, 趋近于最优的预测模型, 可提供较为稳定良好的预测表现。

第 8 章提出基于径向基神经网络的 Web 服务 QoS 组合预测方法^[26,27]。方法结