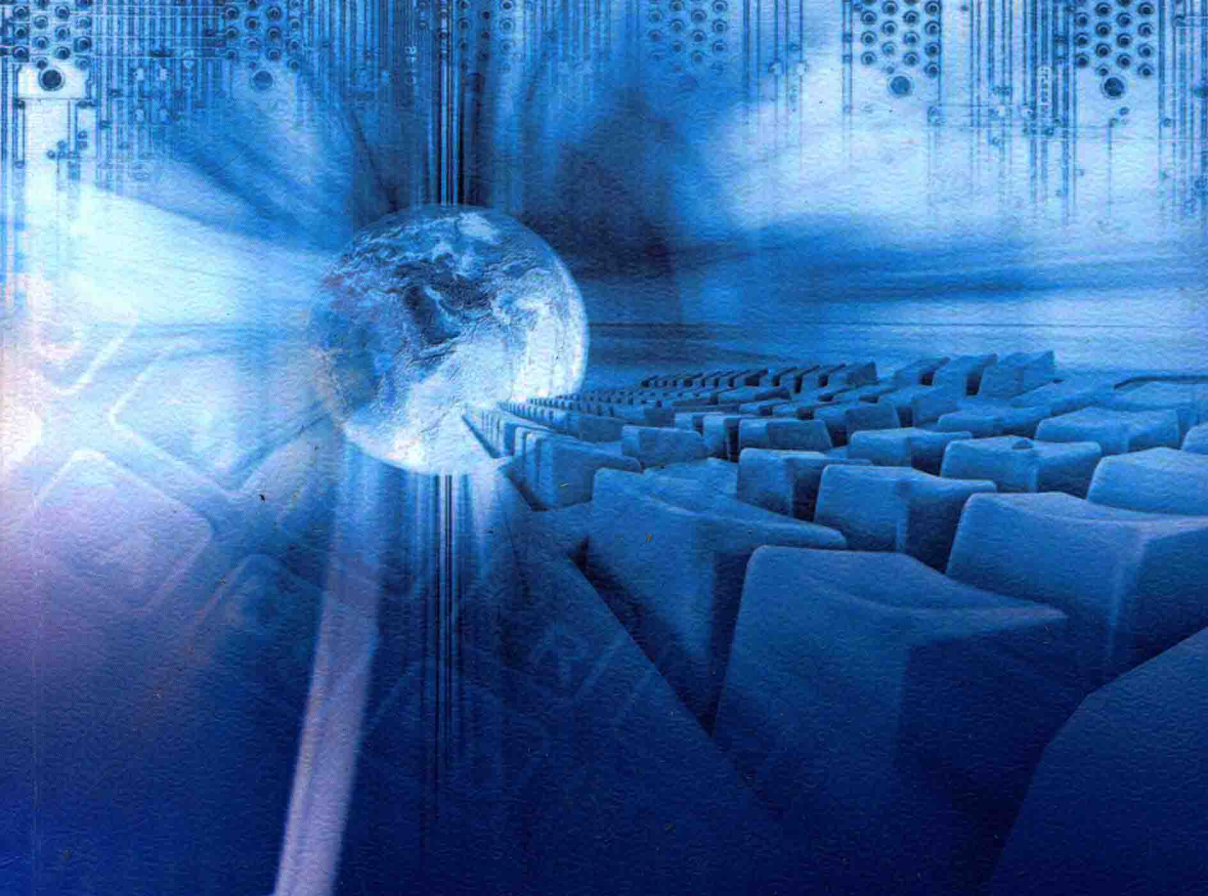




WANGGOU RUANJIAN KEKAOXING JISHU YANJIU

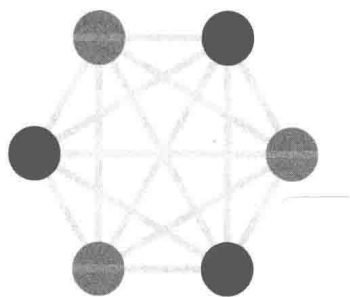
网构软件 可靠性技术研究

张靖 著

张靖

网构软件可靠性技术研究

张靖
—著



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容提要

本书共 7 章, 主要讨论了网构软件的研究背景和意义、网构软件可靠性理论和研究现状、网构软件及其可靠性形式化方法研究、网构软件可靠性计算方法研究、网构软件系统可靠性演化计算研究、网构软件系统可靠性分配方法研究和网构软件系统可靠性技术研究展望。本书面向网络环境下网构软件可靠性技术研究, 阐述了网构软件可靠性基本原理, 提出了可靠性模型及其计算方法, 并且通过试验进行了验证。

本书可供计算机软件与理论、软件工程及其相关工作的专业人员学习、研究参考, 也可作为本领域内研究生学习的参考书。

图书在版编目 (C I P) 数据

网构软件可靠性技术研究 / 张靖著. —成都: 西南交通大学出版社, 2017.10
ISBN 978-7-5643-5630-9

I. ①网… II. ①张… III. ①软件可靠性—研究
IV. ①TP311.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 179853 号

网构软件可靠性技术研究

张 靖 著

责任编辑	张宝华
助理编辑	梁志敏
封面设计	何东琳设计工作室
	西南交通大学出版社
出版发行	(四川省成都市二环路北一段 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	成都勤德印务有限公司
成品尺寸	170 mm × 230 mm
印 张	9.25
字 数	191 千
版 次	2017 年 10 月第 1 版
印 次	2017 年 10 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-5630-9
定 价	48.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言 || PREFACE

人类在生产、生活等活动中一直追求自动化、智能化、安全高效等目标，不断迅速发展的计算机软件技术无疑为其提供了有效的支撑，并促进这一目标向前不断推进。在信息社会，计算机软件无处不在，通过软件技术和工程形成的应用软件或者计算机软件系统已经深入到各行各业，与我们的生产、管理、服务、生活、学习等密不可分，也成为各产业快速发展的重要引擎，特别是互联网的普遍应用，联网的软件系统已经成为一种应用趋势。随着网络化、智能化、生态化等新要求的出现，计算机软件系统将面临更加复杂的工作挑战，绝大多数产品的绝大多数功能和性能基本上依据其软件支撑，软件的可靠性发挥着越来越重要的作用，已经成为软件技术与工程关注的焦点、软件理论研究的热点和实践应用的重点。作为一种新的软件应用模式，网构软件构建和运行在开放、动态的计算机网络上，是未来软件系统一种重要的发展方向，其可靠性研究将势必受到越来越多的重视。

随着软件可靠性工程广泛的研究和不断实践，软件可靠性研究取得了显著的成效。但是，传统的软件可靠性理论与模型，有着不同的应用环境和假设条件，应用到当前各种类型或者应用环境下，可靠性测试和验证仍然存在困难，面临新的应用环境和新的应用模式，传统方法带来的软件危机依然无法解决。特别是联网环境下的分布式软件系统，其开放性、动态性是今后软件系统的重要特点，部署和运行于网络环境的软件系统表现出柔性地演化、连续地反应、适应多目标的新形态，随之产生了网构软件。针对网构软件这一种新的软件形态，分析、研究并探索网构软件可靠性理论和技术，对促进软件可靠性理论的发展，推动软件工程领域的改革和进一步完善，促进软件开发、软件应用和软

件维护等方面质量和效益的有效提高具有重要的学术意义与实用价值。

本书针对网构软件可靠性技术进行研究，讨论了网构软件可靠性模型理论和可靠性计算方法，所涉及的关键技术主要是基于进程代数的网构软件可靠性演算、基于马尔可夫链的可靠性分析和可靠性分配计算。

本书首次对网构软件可靠性的理论进行了系统的研究和深入的探索，针对网构软件可靠性技术研究的主要难题提出了相应的理论与模型、技术方法和应用实践验证，集中反映了在这一领域的研究进展及其成果，希望能为相关研究和实践应用提供有效的参考价值。

由于作者水平有限，时间仓促，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

张靖

2017年7月

目 录 || CONTENTS

1 绪 论 001

1.1 研究目的和意义	001
1.2 研究内容与贡献	003
1.3 本书组织结构	005

2 网构软件可靠性理论及现状研究 007

2.1 网构软件概念	007
2.2 网构软件应用及特点	008
2.2.1 网构软件的集成与应用	008
2.2.2 网构软件特点	011
2.3 网构软件可靠性概念	012
2.4 网构软件可靠性研究现状	013
2.4.1 软件可靠性分析方法和模型	013
2.4.2 网构软件可靠性模型和计算研究	016
2.4.3 进程代数形式化方法	021
2.4.4 转移概率获取方法	022
2.4.5 可靠性演化	022
2.4.6 可靠性分配	023
2.5 本章小结	024

3 网构软件可靠性形式化方法研究 025

3.1 网构软件形式化模型定义	026
3.2 网构软件组合运算	027
3.3 网构软件代数系统	030
3.4 网构软件可靠性演算	032
3.4.1 网构软件结构可靠性	032
3.4.2 网构软件构件演化算法	033
3.4.3 网构软件可靠性随机进程代数表示	036
3.4.4 网构软件可靠性随机进程代数演算	038
3.4.5 网构软件可靠性演算方法	040
3.5 实验验证	042
3.5.1 实验一	042
3.5.2 实验二	044
3.6 本章小结	046

4 网构软件可靠性计算方法研究 048

4.1 网构软件的马尔可夫链特点	049
4.2 网构软件可靠性计算建模	049
4.3 构件可靠性计算方法	054
4.3.1 构件可靠性计算	054
4.3.2 连接可靠性计算	065
4.4 转移概率及其计算	065
4.4.1 网构软件转移概率	065
4.4.2 网络因素下转移概率计算	066
4.4.3 转移概率计算模型	067
4.4.4 转移概率计算方法	070
4.4.5 转移概率计算算法	071
4.5 网构软件系统可靠性计算	075

4.6 系统可靠性影响分析	078
4.7 实验验证	081
4.7.1 实验一	081
4.7.2 实验二	084
4.7.3 实验三	086
4.7.4 实验四	087
4.8 本章小结	094

5 网构软件系统可靠性演化计算研究 095

5.1 网构软件演化性	096
5.2 可靠性演化计算	097
5.2.1 可靠性演化计算	097
5.2.2 可靠性演化趋势计算	098
5.3 计算可靠性演化趋势算法	100
5.4 实验验证	101
5.4.1 实验一	101
5.4.2 实验二	103
5.5 本章小结	105

6 网构软件系统可靠性分配 106

6.1 网构软件系统可靠性分配模型	107
6.2 基于结构的网构软件系统可靠性	108
6.3 网构软件 Markov 链生成方法	108
6.4 可靠性计算函数	109
6.5 网构软件构件可靠性分配	113
6.5.1 可靠性成本函数	113
6.5.2 可靠性规划分配	114
6.6 可靠性规划分配算法	115

6.6.1	惯性权重系数改进	116
6.6.2	约束条件处理	116
6.6.3	编码处理	116
6.6.4	可靠性分配算法设计	117
6.7	实验验证	117
6.8	本章小结	120
7	总结与展望	121
7.1	总 结	121
7.2	网构软件可靠性研究展望	123
7.2.1	自动化提取的新方法	123
7.2.2	网络影响因素科学分析	124
7.2.3	可靠性专用化计算	124
7.2.4	可靠性并行计算	124
7.3	未来的研究工作	125
	参考文献	126

1 绪 论

1.1 研究目的和意义

人类在生产、生活等活动中一直追求自动化、智能化、安全高效等目标，不断迅速发展的计算机技术无疑为其提供了有效的支撑，并促进这一目标向前推进。当今信息社会中，各种计算机系统在工业、农业、服务业等领域广泛应用，发挥着系统支撑和支持作用，已成为我们生产、科研、管理、服务活动以及生活中不可缺少的部分。计算机系统承担的角色和所起的作用日趋重要，促使其在功能自动化、内容智能化、工作规范高效、服务方便快捷等方面不断发展。同时，随着网络化、智能化、生态化等新要求的产生，计算机系统将面临更加复杂的工作挑战。为了保障应用系统安全、稳定和可靠，与传统的应用系统相比，它需要有更加复杂的软件和硬件，但随之带来的结果是有可能导致其软件和硬件的失效，同时，系统可靠性也将面临新的挑战，必须认真结合实际情况分析和研究。由于可靠性的问题，计算机系统会造成人们生产和生活的不便，也可能带来巨大的财产损失，甚至可能影响到人身安全。在计算机系统中，由于硬件的可视化、易测性、物理消耗可控、替代性等特点，其可靠性研究和应用已经相当成熟，而软件失效的可靠性比硬件更为复杂，由软件产生的失效问题几乎占了 65% 甚至更多。由此可见，软件可靠性是计算机系统的重要内容，也是保障计算机系统正常运行的重要指标。

计算机系统的失效一般由系统的可靠性来衡量，可靠性低，失效的概率高。计算机系统硬件可靠性与软件可靠性有较大差异。硬件的可靠性研究和应用已经成熟，表现为具有成熟的理论、模型和方法。而软件可靠性涉及很多因素，如硬件、操作系统、数据库、应用软件，甚至使用模式等，都关系到软件的可靠性。因此，随着硬件技术的成熟，软件可靠性事实上已成为计算机系统可靠

性的瓶颈。尤其是当前开放、动态、异构的 Internet 网络应用逐渐普及并成为主流发展趋势,一些网格计算、云计算等智能服务计算行为也逐渐成熟并广泛应用,研究在 Internet 网络环境下软件系统可靠性,在当前和未来的计算机系统的应用中,更显得十分必要和迫切,具有重要的应用价值和实际意义。

计算机网络具有典型的开放、动态特性,部署和运行于网络环境的软件系统开始表现出柔性地演化、连续地反应、适应多目标的新形态。以面向对象与基于构件等技术形成的软件实体部署并运行在 Internet 的各个节点,如 Web 软件,它们通过某种通信协议和协同机制进行通信和协作,实现了跨网络的互连、互通、协作和联盟协调功能,其软件设计模式已经从“数据结构+算法”演变为“构件开发+基于体系结构的构件组装”模式,并正朝着“构件开发+网络+基于体系结构的构件组装”发展。软件广泛地应用在开放、动态和多变的网络环境,特别是用户个性化的使用方式,这需要在网络环境下应用的软件应能感知外部环境的动态变化,其功能、性能以及可靠性等指标都会随这些变化静态离线调整,或者动态在线演化,才能使系统在功能、性能等方面满足用户需求。这种适应网络环境的新的软件形态首先由杨芙清、梅宏等院士提出,并称之为网构软件(Internetware)^[1-3]。网构软件具有自主性、协同性、反应性、演化性、多目标性等典型特征^[2, 3],它们满足各方应用需求,适应技术发展趋势,将是现在和今后一种主要的软件模式。

随着软件开发技术与计算机网络的发展与融合,特别是面向对象技术、Web 技术,将传统的软件技术与网络应用趋势相结合,发展并形成了基于构件的网构软件开发(Component-based Internetware Development, CBID)模式,已经受到越来越多的软件研发企业、用户等多方面的关注与重视。网络环境下的网构软件开发是在传统软件开发基础上发展并结合计算机网络形成的一种全新的开发方法,它继承了传统技术并吸取了网络优势,具有重用性、快速构建等特点,能有效地提高软件开发、应用的质量和效率。网构软件开发和应用具有平台独立、分布式运行和源代码不可见等特点,对此,传统的软件可靠性分析、建模、计算、评估等模型与方法表现出局限性,不能完全适用网构软件特征需要,这对可靠性技术提出了新的要求。从软件工程角度,网构软件可靠性分析涉及软件生命周期各个阶段,如软件需求、设计、开发、测试、运行和维护等阶段,在这些阶段综合应用可靠性技术能更有效地保障网构软件系统可靠运行。

网构软件通过可靠性度量、可靠性计算来实现可靠性分析,一般包括可靠性设计、可靠性计算、可靠性分配、可靠性测试、可靠性评估等内容。在软件设计阶段,一般进行可靠性计算、可靠性分配工作,在软件开发和测试阶段可进行可靠性测试和可靠性计算,可靠性评估工作主要是在设计阶段和测试阶段进行。但是网构软件运行在网络环境下,其动态性、演化性对可靠性提出新的挑战和要求,因此,进行可靠性计算并分析网构软件可靠性将是一个十分重要的基础性研究内容。

综上所述,针对网构软件这一种新的软件形态,分析、研究并探索网构软件的可靠性理论和技术,将在网构软件的理论研究和推广应用方面具有重要的学术意义与实用价值,能促进软件可靠性理论的发展进而推动软件工程领域的改革和进一步完善,还能促进软件开发、软件应用和软件维护等方面质量和效益的提高。

1.2 研究内容与贡献

针对本书的主要研究内容,其主要创新点或者贡献点如下:

(1) 系统地研究并总结了网构软件可靠性的主要技术难题以及解决方案。对网构软件以及可靠性研究现状进行了调研与分析,针对该领域的研究进展进行了系统总结,对存在的问题及其解决方案进行了研究和探讨,重点对网构软件以及可靠性的建模、形式化表示、可靠性计算、可靠性演化、可靠性分配等技术进行了多方面的对比与分析。研究表明,近十年来,网构软件一直是研究的热点,但还是存在一些如建模、演算、可靠性计算方法等方面的技术难题,所以目前离网构软件的广泛应用还需要一定时间。

(2) 研究了基于进程代数的网构软件可靠性形式化方法,根据网构软件运行特点建立可靠性模型,并基于进程代数的表示方法,进行可靠性的演算。主要贡献:① 网构软件及可靠性的形式化定义和模型,体现了网构软件特点。② 从代数的角度,利用进程代数构建了网构软件的代数系统,通过可靠性组合演算,实现了网构软件可靠性的表示和计算。③ 提出了一种网构软件的组合运

算方法,更有效地解决了动态性、适应性的演算问题。实验表明,所提算法符合网构软件可靠性规律。

(3)研究了基于DTMC(Discrete Time Markov Chain)可靠性的计算方法,并在DTMC的基础上进行改进,建立了基于Markov的网构软件可靠性模型(IRMBMC)。IRMBMC能进行可靠性计算,相比基于路径可靠性模型和失效率可加模型,能减轻路径爆炸,提高计算准确度,因此IRMBMC可作为网构软件可靠性有效的计算模型。主要贡献是:①在网构软件设计阶段,研究了获取构件转移的方法,利用UML等实现构件转移概率的计算方法,作为可靠性计算的重要基础。②提出了一种网络环境下构件连接可靠性的计算方法,较真实地反映了网络对可靠性的影响。③根据随机和概率理论,利用构件转移占有率作为采样来近似地计算构件之间转移概率,有效地解决了马尔可夫链转移概率固定不变这一假设在网构软件的不适应性,提高了可靠性计算效果。④分析和研究了构件可靠性和转移概率对网构软件可靠性的影响规律,提出了具体的计算和分析方法。

(4)研究了网构软件可靠性的演化计算方法。考虑了可靠性变化的积累效应,根据卷积原理,定义了网构软件可靠性演化模型,体现了网构软件的演化特性,满足网构软件可靠性分析实际需要。主要贡献是:①提出了一种有效的可靠性演化计算模型和方法,提高了可靠性演化分析效率。②利用卷积理论,提出了快速的可靠性演化计算方法,大大降低了计算复杂度。③解决了传统模型中构件同时变化的情况下演化趋势有效计算,提出了一种新的可靠性趋势计算方法。

(5)研究了网构软件可靠性的分配方法,提出了基于DTMC的可靠性分配计算方法,作为网构软件构件选择的重要依据。主要贡献是:①基于DTMC提出了可靠性函数生成方法,克服了因为目前路径爆炸阻碍可靠性计算的难题。②根据网构软件特点,设计了可靠性成本函数,作为可靠性分配的主要依据。③基于梯级惩罚设计了一种动态混合优化算法,实现了可靠性有效分配。实验表明,分配效果好,满足了网构软件可靠性要求以及实现了软件的成本控制。

最后,对网构软件可靠性的发展进行了展望,并提出了未来的四个研究方向。①网构软件体系结构和转移概率自动化提取的新方法,以增强可靠性计算的及时性和扩展性,应用于实际复杂环境。②考虑更多的网络影响因素,设计

功能更强的可靠性计算方法,并加快求解速度。③专用化可靠性计算的设计,在不同的应用领域和应用场景中设计不同的特定计算,满足不同类型的可靠性计算需求。④并行化可靠性计算,利用计算机网络丰富的计算资源实现并行计算,进一步提高计算效率与性能,如:多核 CPU、云计算等技术。

1.3 本书组织结构

本书研究工作组织结构如下,共分为七个部分进行论述:

第一章是绪论部分,论述了网构软件的产生、网构软件可靠性研究内容意义,指出了本研究的研究目的、价值和意义,并对全书进行了概述,归纳出全书主要创新点或者贡献点。

第二章是网构软件可靠性的调查研究,总结了本领域的研究进展,分析了网构软件应用以及特点,阐述了网构软件的概念内容,分析了软件可靠性概念,论述了网构软件可靠性技术研究的现状与热点,重点对网构软件以及可靠性建模、形式化表示、可靠性计算、可靠性演化、可靠性分配等技术进行了分析和论述。

第三章是网构软件及可靠性形式化方法的分析和研究。采用形式化方法分析网构软件以及可靠性,定义了构件、连接和网构软件的模型,根据构件的增加、删除、连接修改等演算特点,分析了网构软件的组合运算,突出了具体的计算方法,由此,基于进程代数提出了网构软件可靠性的演算模型,实现了网构软件可靠性形式化表示和形式化演算。

第四章是网构软件可靠性计算方法的研究。通过分析和研究网构软件结构以及可靠性,提出了网构软件可靠性模型以及计算其可靠性的方法,根据网络访问特性,设计了构件连接模型和连接可靠性计算方法。在网络环境下,利用随机和概率理论,采用转移占有率近似计算转移概率,设计了基于梯度的转移概率矩阵算法,获得了构件之间的转移概率,有效地实现了网构软件可靠性的量化计算。

第五章是可靠性演化计算的研究。根据网构软件演化特点,分析了网构软件构件在网络应用中可靠性要发生变化的特点,考虑了可靠性变化的积累效应

影响,根据网构软件运行的马尔可夫特性,在 DTMC 模型基础上,利用卷积理论计算网构软件可靠性积累效应影响,提出了一种可靠性演化模型以及可靠性计算方法,实现了网构软件演化过程中可靠性计算。

第六章是可靠性分配计算的研究。分析和研究了网构软件可靠性分配的计算方法。研究了设计阶段的网构软件按照体系结构转换成马尔可夫状态链的方法,分析了可靠性计算及可靠性函数的生成方法,结合网构软件特点,研究了提高可靠性的成本函数,根据预分配情况,利用遗传算法和粒子算法提出一种新的混合动态优化算法,实现了可靠性的有效分配。

第七章是总结与展望。总结了全书的研究内容以及相关研究的局限性,归纳出了创新点或者贡献点,同时,在自动化提取、网络影响、专用化计算、并行计算等方面展望了网构软件可靠性研究的发展前景与未来研究方向。

2 网构软件可靠性理论及现状研究

网构软件作为一种新的软件模式，从传统的软件发展而来，现有的传统软件可靠性理论仍然可以应用到其可靠性的分析与研究工作中，但同时必须结合网构软件本身的基本原理、特点和应用模式，在传统的软件可靠性理论基础上进行完善、扩展和创新，进而形成网构软件的可靠性理论，其研究现状体现了网构软件可靠性研究基础、研究重点和发展趋势，引领着网构软件可靠性研究的持续发展。

2.1 网构软件概念

计算机网络不断发展和普及，已经成为软件开发、部署和执行的新主流平台。作为一个动态的、开放的和不断变化的环境，互联网对传统软件系统提出了新的要求，基于网络的计算机软件系统应用已经成为趋势。随着软件工程的不断发展和成熟，软件应用环境网络化、并行化、分布化对传统软件在异构性处理、结构化处理、自主化处理、动态化处理等方面的交互协同提出了更高的要求，在软件开发、集成和应用等方面需要更加快速、高效和精准。由此新的技术、方法、框架不断产生，逐渐影响着传统软件的设计、开发、测试、部署、运行和维护方式。

从软件应用模式来看，传统的计算机系统已经由封闭平台向开放的 Internet 平台转变，应用模式上已经从 Client/Server 发展为 Browse/Server、Browse/Cluster、Browse/Cloud，软件的开发、部署、执行、维护等主要基于计算机网络，特别是 Internet。

从软件体系结构来看，为了适应网络环境，软件系统的结构模型将具有自

治、下文敏感、连续反应并演化的能力，具有自主和适应性。基于网络的软件系统是由分布在各个网络节点的构件软件实体组成，这些软件实体通过静态协调和动态交互方式如整合、合作、协调等，实现感知开放、动态的环境变化，并随之相应变化来适应实际的应用。

软件开发技术方面，以面向对象的技术转变为面向构件的开发技术，为了支持各种新的应用方式和适应底层支撑平台的转变，引入基于网络的构件来描述互联网计算环境作为新兴的软件模式。网构软件是一种在 Internet 计算环境中的软件模式，其最大的特点是主要在 Internet 上构建、开发和运行。

从软件扩展性来看，采用了基于组件、构件的技术，基于网络集成构建软件系统，其移植、扩展和可维护性大大提高，软件具有对于环境的感知、调整能力，软件以构件的方式实现共享，其资源共享和利用率大大提高，也极大地缩短了开发周期，节约了软件成本。

可见，一个网构系统是这样的一个软件系统，由位于 Internet 及其分布式节点上的实体以静态和动态的各种交互方式连接，成为一个自主、自治的整体，它具有环境感知和系统调整的反应能力，感知开放动态的互联网环境等变化，并通过体系结构的转换来及时反映这些变化，实现上下文感知、自适应、关系信任来满足其灵活的设计、开发、应用目标，它将在操作平台、体系结构、编程模型、工程方法等方面挑战传统软件技术。这样一种新的软件形态与应用模式就是网构软件（Internetware）。

2.2 网构软件应用及特点

2.2.1 网构软件的集成与应用

在软件工程学中，组件和构件是基本的组成单元。组件就是对象，组件是对数据和方法的简单封装。从软件复用的角度，构件（Component）是能够被多个软件系统所复用的、具有一定意义的功能相对独立的系统构成成分。最早在 1996 年 ECOOP（European Conference on object-Oriented Programming）定义构件为“一个具有规范接口和确定的上下文依赖的组装单元，它能够被独立