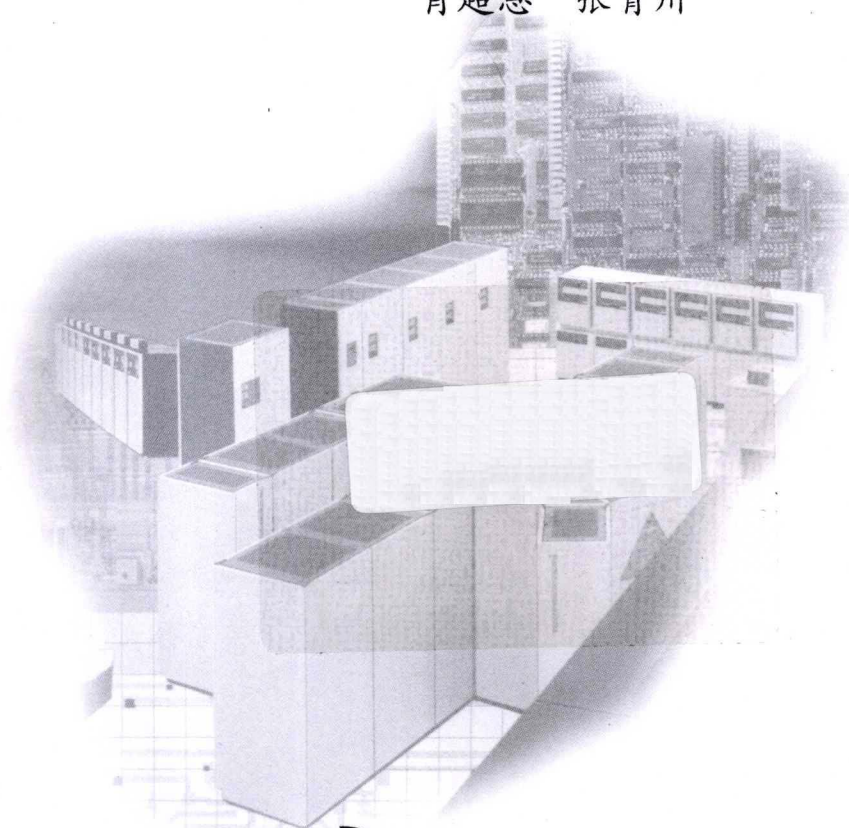


中国科协三峡科技出版资助计划

“软件人”构件与 系统演化计算

曾广平 岳 洋 艾冬梅 著
肖超恩 张青川



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

中国科协三峡科技出版资助计划

“软件人”构件与系统 演化计算

曾广平 岳 洋 艾冬梅 著
肖超恩 张青川

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

“软件人”构件与系统演化计算 / 曾广平等著. —北京: 中国科学技术出版社, 2012. 12

(中国科协三峡科技出版资助计划)

ISBN 978 - 7 - 5046 - 6260 - 6

I. ①软… II. ①曾… III. ①操作系统 (软件) - 算法理论 IV. ①TP316

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 306578 号

总 策 划 沈爱民 林初学 刘兴平 孙志禹

责任编辑 周晓慧

项 目 策 划 杨书宣 赵崇海

责任校对 刘洪岩

出 版 人 苏 青

印刷监制 李春利

编辑组组长 吕建华 许 英 赵 晖

责任印制 张建农

出 版 中国科学技术出版社

发 行 科学普及出版社发行部

地 址 北京市海淀区中关村南大街 16 号

邮 编 100081

发行电话 010 - 62103349

传 真 010 - 62103166

网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>

开 本 787mm × 1092mm 1/16

字 数 205 千字

印 张 13

版 次 2013 年 1 月第 1 版

印 次 2013 年 1 月第 1 次印刷

印 刷 北京华联印刷有限公司

书 号 ISBN 978 - 7 - 5046 - 6260 - 6/TP · 387

定 价 52.00 元



(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

总 序

科技是人类智慧的伟大结晶，创新是文明进步的不竭动力。当今世界，科技日益深入影响经济社会发展和人们日常生活，科技创新发展水平深刻反映着一个国家的综合国力和核心竞争力。面对新形势、新要求，我们必须牢牢把握新的科技革命和产业变革机遇，大力实施科教兴国战略和人才强国战略，全面提高自主创新能力。

科技著作是科研成果和自主创新能力的重要体现形式。纵观世界科技发展历史，高水平学术论著的出版常常成为科技进步和科技创新的重要里程碑。1543年，哥白尼的《天体运行论》在他逝世前夕出版，标志着人类在宇宙认识论上的一次革命，新的科学思想得以传遍欧洲，科学革命的序幕由此拉开。1687年，牛顿的代表作《自然哲学的数学原理》问世，在物理学、数学、天文学和哲学等领域产生巨大影响，标志着牛顿力学三大定律和万有引力定律的诞生。1789年，拉瓦锡出版了他的划时代名著《化学纲要》，为使化学确立为一门真正独立的学科奠定了基础，标志着化学新纪元的开端。1873年，麦克斯韦出版的《论电和磁》标志着电磁场理论的创立，该理论将电学、磁学、光学统一起来，成为19世纪物理学发展的最光辉成果。

这些伟大的学术论著凝聚着科学巨匠们的伟大科学思想，标志着不同时代科学技术的革命性进展，成为支撑相应学科发展宽厚、坚实的奠基石。放眼全球，科技论著的出版数量和质量，集中体现了各国科技工作者的原始创新能力，一个国家但凡拥有强大的自主创新能力，无一例外也反映到其出版的科技论著数量、质量和影响力上。出版高水平、高质量的学术著

作，成为科技工作者的奋斗目标和出版工作者的不懈追求。

中国科学技术协会是中国科技工作者的群众组织，是党和政府联系科技工作者的桥梁和纽带，在组织开展学术交流、科学普及、人才举荐、决策咨询等方面，具有独特的学科智力优势和组织网络优势。中国长江三峡集团公司是中国特大型国有独资企业，是推动我国经济发展、社会进步、民生改善、科技创新和国家安全的重要力量。2011年12月，中国科学技术协会和中国长江三峡集团公司签订战略合作协议，联合设立“中国科协三峡科技出版资助计划”，资助全国从事基础研究、应用基础研究或技术开发、改造和产品研发的科技工作者出版高水平的科技学术著作，并向45岁以下青年科技工作者、中国青年科技奖获得者和全国百篇优秀博士论文获得者倾斜，重点资助科技人员出版首部学术专著。

我由衷地希望，“中国科协三峡科技出版资助计划”的实施，对更好地聚集原创科研成果，推动国家科技创新和学科发展，促进科技工作者学术成长，繁荣科技出版，打造中国科学技术出版社学术出版品牌，产生积极的、重要的作用。

是为序。

中国长江三峡集团公司董事长



2012年12月

第一作者简介



曾广平 (Guangping Zeng), 1962 年生, 湖南石门人, 师从中国人工智能科学主要开创者之一涂序彦教授, 2005 年计算机专业博士研究生毕业, 工学博士学位; 2008 ~ 2009 年在美国伯克利加州大学电气工程与计算机科学系 (EECS, UC Berkeley) 做博士后研究员 (Postdoctoral Research Fellow), 师从模糊数学创始人 Lotfi A. Zadeh 院士。现任北京科技大学计算机智能系统与软计算研究所所长、教授、博士生导师; 材料领域知识工程北京市重点实验室副主任。学术研究方向: 分布/迁移/协同计算; 软计算、软件人与智能系统; 嵌入式系统与智能机器人; AI 技术与信息系统; 自演化系统与演化计算; 智能网络与智能通信。

曾广平教授先后主持国家“863”计划、国家重点科技攻关项目、国家自然科学基金、国家科技支撑计划等国家级科研课题 6 项, 主持省部级科研课题 8 项; 撰写科学研究专著:《软件人研究及其应用》(科学出版社, 2007 年 4 月出版) 在《自动化学报》、《计算机学报》、《通信学报》、《电子学报》等国内外重要刊物和国际学术会议上发表论文 80 余篇, 其中 50 余篇被 SCI 和 EI 检索。指导培养博士研究生 10 余名, 硕士研究生 70 余名, 外国留学研究生 9 名。先后与美国伯克利加州大学、美国微软研究院、加拿大卡尔加里大学等世界一流科研机构进行合作研究。

曾广平教授于 2011 年荣获“科学中国人 (2011) 年度人物”奖; 1999 年被授予湖南省优秀科技专家称号、1999 年入选湖南省跨世纪学术带头人、1997 年入选有色金属总公司跨世纪学术带头人; 先后获 5 项国家和部级科技成果奖。

序 一

与“机器人”(Robot)相对应,“软件人”(SoftMan, SM)是人的软件模型,是拟人的人工生命,是生存、活动、工作于计算机网络环境中的“虚拟机器人”。在网络系统内各结点分布的“软件人”,可按功能、任务、性质、集团等组成相应的“虚拟人工社会”。“软件人”理论及技术可用于人类社会的模型与仿真系统。

任何一个“人工系统”(尤其是现代信息系统和由信息与决策作为控制中枢的工程系统)都希望随着周边环境的改变和人们欲望的提高,本身的素质功能也自动随之升级。这种“升级”应该是自主的、适应随机应变的、符合人类意愿的。这种“升级”便是人类欲望支配下的“演化”。

演化是横亘于天宇万物的一种自然现象。软件是客观事物及其联系的虚拟模型,是客观世界中问题空间与解空间在信息世界的抽象表达。客观世界的不断变化也必然决定了软件的生命周期历程就是一个对现实世界不断认识、不断抽象的演化过程。

由此可见,“演化性”是开放系统的固有属性,“演化”是其“大生命周期”中的重要阶段。对于运行在动态、异质、难控的上下文环境中的开放系统而言,人们愈来愈强调其能够在持续提供关键服务的前提下,动态改变体系结构的元素构成和运行期行为,以“在线成长”、“螺旋上升”方式适应开放的用户需求和环境变化,从而不断提升系统的性能和功能水平。

当然,这种“系统演化”是在人的需求方向上进行的,而且这种系统与环境、与人类是可以交互和沟通的,即一定是开放系统。

面向开放系统演化的亟需和挑战,北京科技大学曾广平教授带领的研究团队,在“软件人”与软件动态演化的结合上作出了有益的探索。他们

以提供强动态、可配置、自开放的高层应用为目标，通过把“软件人”本体普适化为“软件人”构件（SMC），并将构件层面显式支持动态演化作为核心技术和着力点，总结出一套基于 SMC 来设计、开发、运行和演化开放应用的系统级解决方案。使得基于 SMC 建造的软件系统实现了真正意义上的、由上下文感知触发的、以体系结构动态配置为内在活动、以系统属性不断提升为外在表现的自适应演化目标。本书就是作者在总结国家高技术研究发展计划（“863”计划）课题（No. 2009AA01Z119）和国家自然科学基金课题（No. 60375038, No. 60973065）等科研工作和技术成果的基础上撰写而成的。

专著《“软件人”构件与系统演化计算》凝聚了曾广平教授及其学生们的孜孜耕耘与心血。他们以多项国家级课题为依托，在“软件人”与软件动态演化的理论及应用方面做出了有益的探索。我确信，该书的出版对于促进“软件人”探索与工程应用，进而推动复杂、分布网络大系统的自适应演化研究，都具有重要的学术价值和现实意义。

是为序。

北京科技大学计算机与通信工程学院教授
中国人工智能学会荣誉理事长



2012 年 4 月 6 日

序 二

众所周知，现在的软件产品是从相对的稳定到动态多变，它从开发时间、质量、成本、服务、环境到知识含量等都面临着严峻的挑战。制造产业信息化、信息产业智能化、智能系统自演化，这是一个趋势。自演化就是让系统自己边建模、边仿真、边构造，把信息技术、建模仿真、设计管理等综合应用到软件产品之全系统、全生命周期活动中，建立一个高效、低耗和基于知识的网络化、智能化的软件生产新模式。系统仿真不只是一种验证存在、演示未来的手段，还是一种升级、构造软件系统的新方法。“软件人构件演化系统”就是复杂系统建模仿真理论与技术支持下系统全生命周期活动的一类建模与仿真技术，比较真实地描述了系统的运行、演变及其发展过程。

目前，开放、多变、动态、异质、异构的软件计算平台正驱动着软件基本形态由传统的静态封闭框架向动态开放模式转变，未来的网络应用模式必然具备环境感知、服务升级、模型多样、结构柔性、在线仿真、在线演化、动态协同和自主适应等高级计算特性。然而，传统的软件理论、方法和技术在解决开放系统的本质需求时遇到了大量的挑战性问题。例如：在宏观体系结构显式化、环境感知和交互能力、软件实体元素的可变性、结构关系可调性和系统运行时元素“热‘插’‘拔’”功能等方面都亟需理论方法和技术工具的突破，呼唤在软件系统的演化性和应变能力等核心技术方面推陈出新。

面对挑战，曾广平教授带领的研究团队，以“大系统理论”、“分布式系统”、“智能系统”和“模型工程”为指导，依托“软件人”前期工作积累，以“构造模型”、“感知环境”、“规划策略”、“演化仿真”、“系统生

成”等关键问题为重点攻关对象，系统地总结出一套基于“软件人”构件来设计、开发、运行和演化开放应用的解决方案。其中：“构造模型”是将“软件人”本体普适化为“软件人”构件，提出一种以演化为主的构件模型，同时构造出“软件人”构件的运行平台和基础设施；“感知环境”是借助“软件人”的环境感知框架，赋予“软件人”构件以获取、识别和理解上下文信息的环境交互能力；“规划策略”是在环境激励机制驱动下，依托决策机构内建的规则及其推理算法，产生出满足预期的系统演变规划；“演化仿真”是在演化策略指导下，有效控制基于“软件人”构件的分布式系统完整、一致地在线演化；“系统生成”是在演化过程中构造系统结构和完成功能进化，使得到的系统具有综合、协同、继承和互操作的特性。

《“软件人”构件与系统演化计算》一书以构造一个“软件人构件演化系统”为主线，从基础理论和工程技术两个层面，围绕“软件人”构件及其系统演化仿真的关键问题，展开了深入浅出的论述。本书是一个开展高效能计算技术和现代建模与仿真技术融合的研究范例，所研发的演化系统在支持软件质量、开发成本及进度、模型维护等方面都具有良好的性能。我相信，这本颇具学术价值、蕴涵新意的科技专著，一定能在学术思想和科学方法上为读者和软件新技术领域的研究人员提供启迪、指导和帮助。

中国航天科工集团二院科技委员会常务副主任
中国系统仿真学会理事长
中国工程院院士



2012年4月8日

序 三

智能，是信息运用、知识凝练、策略生成和问题求解的能力。因此，智能科学与技术是信息科学技术的核心、前沿和制高点。

明晰智能科学与技术的发展现状和趋势，遵循信息技术“拟人”、“辅人”和“共生”的基本规律，北京科技大学的涂序彦教授和他的弟子曾广平教授，从“拟人学”的新学科角度出发，高屋建瓴，首先提出了“软件人”的研究方向，在国内外产生了良好的学术影响。“软件人”既是人工智能、人工生命研究开发的重要对象，也是拟人系统的智能化软件工具与仿真模型。“软件人”是生存并活动于软件世界的虚拟机器人，是拟人的软件人工生命，是“智体”（Agent）向拟人化、集成化、广义化发展的新成果。

在前期工作基础之上，曾广平教授又延拓了“软件人”的研究和应用领域。他们将智能科学的理论、方法、成果与软件工程学体系相结合，以“软件人”构件为切入点，提出了一套支撑复杂软件构造、运行和演化的智能框架和新技术，开发了运行平台、支持环境和关键工具，并通过相关应用展示和验证了研究结果，在软件自动演化技术方面取得重要进展。呈现在读者面前的《“软件人”构件与系统演化计算》一书立题新颖，结构严谨，论述翔实，研究深入，有较高的学术水准和前瞻性。

经过近几十年的发展，智能技术及其应用已经成为IT行业创新的重要生长点，其广泛的应用前景日趋明显。我由衷地希望“软件人”研究团队能够坚持不懈，集思广益，保持强大的创新势头，在基础理论、关键技术和重大应用研究方面取得更令人鼓舞的成果。

中国空间技术研究院研究员

中国科学院院士



2012年4月12日



前 言

“辅人律”（以满足人类需要为中心）和“拟人律”（以节约物质和能量为动力）是信息技术发展必然遵循的两条基本规律。“辅人律”规定了信息技术的目的、性质和任务，“拟人律”则揭示信息技术发展的方向和路线；“辅人”是目的，“拟人”是手段，即通过“拟人”的手段达到“辅人”的目的。

遵循科学技术“辅人”和“拟人”的重要规律和方向，北京科技大学的涂序彦教授和他的弟子曾广平博士，于2002年提出了比Agent（智体）更加人性化的软件实体——“软件人”（SoftMan, SM），并获得国家自然科学基金课题（项目批准号：60375038）的立项支持。从此，“软件人”研究团队在这一新兴领域展开了有益的探索。

“软件人”的涵义界定如下：“软件人”是具有拟人智能的、生存在并活动于计算机网络世界中的一类软件人工生命，是一种“虚拟机器人”。它具有拟人属性、拟人功能、拟人行为和拟人结构。“软件人”是纯软件的、无形体的、只在虚拟的网络空间里活动，而“机器人”是软硬件结合的、有形体的、在三维物理空间活动；与“Agents”比较，“软件人”具有自主决策能力及自由意志，并能够自行识别环境。“软件人”能在网络软件世界里代替人从事一些信息获取、传输、处理和利用工作。

几年来，研究团队针对“软件人”的个体模型与构造特征、“软件人社会”的形式化建模与组织机制、“软件人”协调机制与协作模式、通信机制与迁移方式、安全策略与容错机制等进行了广泛、深入的研究，设计并构造了一个“软件人”仿真原型平台，并且在数字气田、智能ERP、信息安全、智能游戏、社会群体协调仿真等不同领域进行了应用验证和实验测试，

均获得了较好的效果，在国内外有一定影响。有兴趣的读者可以参考《“软件人”研究及应用》（科学出版社，2007年4月）一书，以获得更翔实的背景知识。

依托上述工作成果和技术储备，我们在“863”课题研究（No. 2009AA01Z119）中，将“软件人”技术融入 CBSE（Component Based Software Engineering）领域，在“软件人”与开放系统演化的结合上进行有益的探索。这里有必要梳理一下“软件人”理论和技术体系与本书内容之间的有机联系。

截至目前，“软件人”已有了 JAVA 平台下的原型实现。从运行平台的构造机理来看，“软件人系统”的分析、设计、控制、协调和管理无不借鉴了大系统广义模型化方法，凸显了大系统智能控制理念。从系统的运行机制来看，“软件人系统”是一个为了问题求解目标的实现而进行的合理组织与协调、并具有一定边界的“人工组织”。换句话说，正是基于“任务软件人”的动态创建（或者销毁）、自由迁移以及它们彼此之间动态建立（或者解除）合作关系以协同完成复杂任务，才使得“软件人系统”能够根据问题求解的目标，在运行环境变化与总体组织结构之间较好地匹配。然而，外界环境、求解目标和约束条件等因素的变化会破坏这种匹配关系，引发系统适应性地调整和改变，以寻求与当前上下文相适应的组织结构和服务行为，而这种自主动态变化机制正是系统演化的外现与表达。

从系统高层抽象角度来看，“软件人”是逻辑上或物理上分离的、具有一定的环境感知能力、能对任务需求进行分析、推理、规划和处理的独立个体。从原型系统的参考实现来看，一个普通的“任务软件人”映射为运行系统中既密切协作、又严格实现关注分离的实例化组件集；且“任务软件人”的创建、注册、迁移、服务执行以及它们之间的交互、协调等都与底层基础设施紧耦合。由此可见，在现有技术局限下，“软件人系统”与普遍意义下的开放系统之间，以及“软件人”个体与开放应用中的软件实体之间都存在技术鸿沟。

因此，为了解决更具广泛意义的开放系统演化及其应用问题，我们提

出将“软件人系统”中特化的“软件人”个体普适化，即：通过为“软件人”瘦身，理清提供演化支撑的特定关注点，剥离其松散结构中的非必要实体，将“软件人”转化为 CBSE 领域中的一个既普通又特殊的“构件”（注：本书中称其为“软件人”构件，简称 SMC，参见 2.1.1 节）。“软件人”构件的普通之处在于，利用 SMC 来设计、开发软件系统，与使用其他传统构件模型所经历的典型过程无异，即构件开发者只需把精力集中于服务功能接口的定义和编码实现上；而“软件人”构件的特殊性则在于：由“软件人”技术体系衍生的“软件人”构件，不仅引入了“软件人系统”的层级递阶模型和运行期动态管控思想，还通过保留“服务接口”、“构件体”、“管理外壳”等型构特征，巧妙地将演化使能问题投射到构件级别，并通过在“管理外壳”中内建多关注的元接口实现了对演化的显性支持。上述机制使得基于 SMC 构造的软件系统在运行之后就自然成为一个强动态、可配置的开放应用，可为第三方表达对开放系统的演化意图提供技术支撑。

本书内容即是上述工作路线的延展与阶段总结。以开放环境下软件系统必须具备行为动态性和结构灵活性的技术需求为切入点，系统阐述了一种具有良好的构造性和演化性的“软件人”构件模型及其运行平台、基础设施的构造机理；同时，引入上下文场景变化激励系统行为和结构的变迁，经决策机构综合评判后自动完成系统体系结构演化的触发、解释和执行，并通过开放语义框架对演化的正确性进行规约，以维持系统的完整性和一致性。由此为分布式构件系统提供了一套高开放、强动态和自演化的系统级解决方案（编程模型、运行平台、支持环境和相关软件工具）。

本书共分 9 章。第 1 章绪论；第 2 章“软件人”构件模型；第 3 章“软件人”构件的运行支撑平台；第 4 章“软件人”构件的基础设施；第 5 章环境感知及其资源管理——上下文感知中间件；第 6 章动态演化的决策和执行；第 7 章动态演化的约束机制与正确性评判；第 8 章应用案例；第 9 章原型系统评价与总结。

本书的撰写和出版得到了中国科协三峡科技出版资助计划的鼎力资助以及中国科学技术出版社的大力支持，谨表示衷心的感谢！对课题研究和著

作撰写作出重要贡献的还有：肖超恩博士、张青川博士、王琦博士、汪永好博士、覃为硕士和陆中振硕士。此外，参与本书写作整理工作的还有张丽霞博士和熊雄、桂训龙、付祺、陈博、闫京颖、王丽等硕士。作者对上述人员的辛勤付出一并表示诚挚的谢意！

本书的写作和出版得到了国家高技术研究发展计划（“863”计划）课题（No. 2009AA01Z119）和国家自然科学基金课题（No. 60973065）的支持和资助，特此致谢。

本书参考了大量文献，限于篇幅，不能一一列出，在此一并致谢！同时，由于时间仓促，加上作者水平所限，书中不妥及错误之处恳请相关专家和读者批评指正。

在本书付梓之际，作者要特别感谢中国科学技术出版社社长苏青教授，正是他对本书在撰写过程中给予的建设性指导和鞭策，使我们得以成文此作。

曾广平 岳 洋

2012年5月

Preface

The “Assisting Person” principles catering for human needs and the “Simulating Person” principles aiming at saving substance and energy are the general ones which the development of information technology must comply with. The former prescribes the goals, properties and tasks of information technology’s development, and the latter reveals its direction and route. “Assisting Person” is the aims, and “Simulating Person” is the means to get to the destinations for helping people in their needs.

Along the principles and directions mentioned above, Professor Xuyan Tu and his former student, Doctor Guangping Zeng, from University of Science and Technology Beijing, in 2002, put forward the “SoftMan”, a novel and more humanized concept than “Agent”. And their research was also supported by National Natural Science Foundation of China (No. 60375038). Here since 2002, the research team of “SoftMan” has been probing in this new field.

The SoftMan is defined as follows: SoftMan is a kind of software – artificial – life who lives in and acts in computer – network – world. It is a sort of virtual robots which come with humanized attributes, humanized activities, humanized behaviors, and humanized constructs. SoftMan, compared with Robot, is of pure software, of no concrete body and only moves and works in virtual space of networking, but Robot is of composed body of hardware and software, of concrete body, and moves and works in 3 – dementional physical world. Compared with “Agent”, SoftMan is filled with self – making – decision ability, self – will. SoftMan takes a role of person in the software world as an agent of human being to work on information acquisition, transmission, processing and utilization.

In the past several years, the research team has launched broad and pro-