

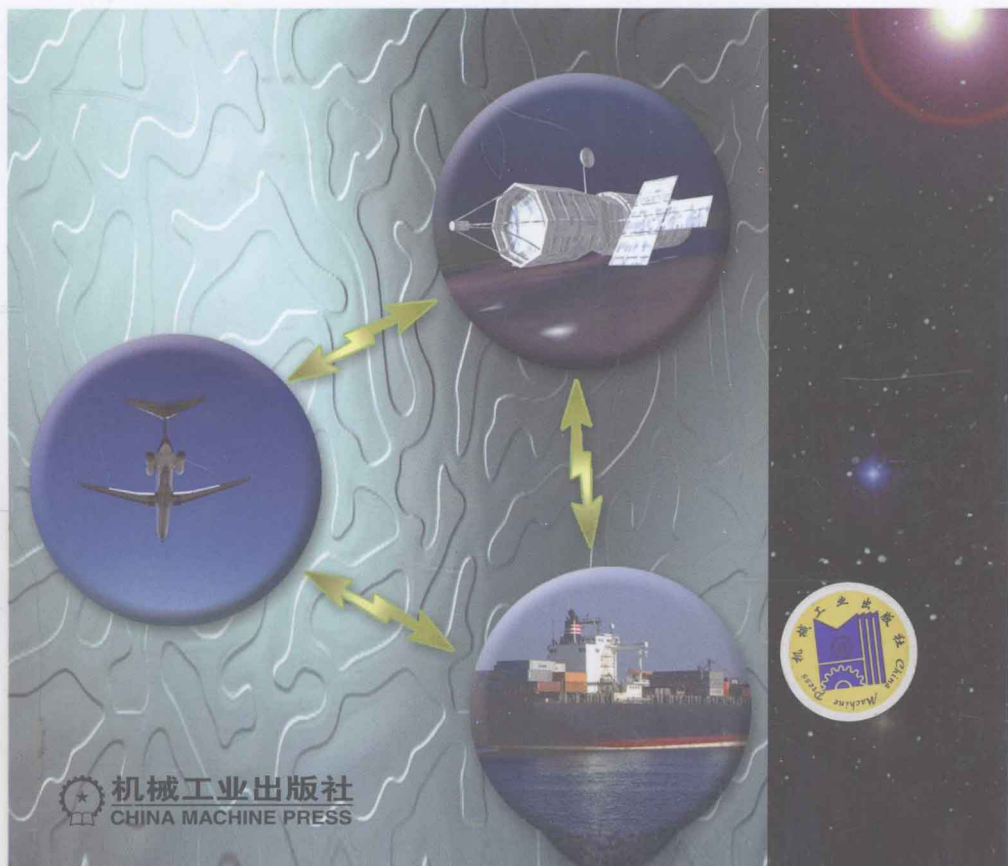
系 / 统 / 系 / 工 / 程 / 师 / 必 / 备 / 读 / 物

系统系统工程

原理和应用

(美) Mo Jamshidi 等编著

曾繁雄 洪益群 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

系统系工程师必备读物

系统系工程原理和应用

(美) Mo Jamshidi 等编著
翻译 曾繁雄 洪益群 丁树伟
侯春敏 陈 润 李鹏程
宋 琦 殷冠喆



机械工业出版社

本书系统地总结了近年来系统系和系统系统工程理论、技术、方法的前沿研究和实践成果，涵盖系统系和系统系统工程的基本概念、原理、建模、仿真、体系结构、控制、沟通、优化和应用等基础性论题，论及系统系工程之众多应用领域，缕述国家安全、交通运输、能源、防务、卫生健康、信息技术、服务业等以实证和实践经验对系统系和系统系统工程的建立和发展作出的贡献。本书还提出了需要依靠理论和实证两方面的根本进步来解决的许多问题和课题，其中包括系统系工程标准的制定、应用和管理，发挥标准对系统工程建设和发展的作用。

本书的主要编著者 Mo Jamshidi 一身膺多个学会和多个国家院士，乃知名学者、教授，发表技术论著 600 余部，在“大规模系统原理、应用与工程教育”、“机器人与制造系统控制”、“复杂大系统及其在控制和优化方面的应用”等领域有许多贡献，获奖多项，他于 2006 年创立 IEEE 系统系工程国际联合会并一直任该会主席，本书的其余编著者都是从事系统系和系统系统工程前沿研究和实践的教授、专家和学者。

本书对我国相应领域的研究者、教学者和实践者都具参考价值。

Systems of Systems Engineering /by Mo Jamshidi ISBN: 978-1-4200-6588-6
Copyright © 2009 by CRC Press.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved.

本书中文简体翻译版授权由机械工业出版社独家出版并限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签，无标签者不得销售。

本书版权登记号：图字 01-2010-5010

图书在版编目(CIP)数据

系统工程原理和应用/(美)雅姆希蒂(Jamshidi, M.)等
编著;曾繁雄,洪益群等译. —北京:机械工业出版社,
2012. 8

ISBN 978-7-111-38955-2

I. ①系… II. ①雅… ②曾… ③洪… III. ①系统工程
IV. ①N945

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 139805 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:徐 巍 责任编辑:徐 巍 丁 锋 版式设计:霍永明
责任校对:薛 娜 封面设计:赵颖喆 责任印制:乔 宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm · 24.75 印张·508 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-38955-2

定价:89.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社 服 务 中 心:(010)88361066 教 材 网:<http://www.cmpedu.com>

销 售 一 部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

献与家人：
Jila、Ava and Nima

编著者简介

Mo Jamshidi, 电气和电子工程师学会(IEEE)院士、美国机械工程师学会(ASME)院士、美国航空与航天学会(AIAA)通信院士、美国科学促进会(AAAS)院士、发展中国家科学院(TWAS)院士、纽约科学院(NYAS)院士、俄罗斯非线性科学院成员、匈牙利工程科学院通信院士。1971年2月获伊利诺伊大学香槟分校电气工程博士学位,1999年获阿塞拜疆国立大学和加拿大滑铁卢大学名誉博士学位,2004年获希腊克里特理工大学名誉博士学位,目前是 Lutchter Brown 授予的圣安东尼奥德克萨斯大学客座教授。他还是阿布奎基新墨西哥大学的电气和计算机工程系董事会名誉教授、制造工程系 AT&T 教授、自主控制工程中心创始人;作为顾问和政府特别雇员长达 25 年,先后在美国能源部、美国航空航天局总部和喷气推进实验室、美国空军研究实验室工作;曾在多家美国和国际公司(如 IBM 和通用汽车公司)的学术和工业领域任职;1999 年,作为北约知名教授,在葡萄牙主授智能系统和控制。他共发表技术论著 600 余部,其中著作和编著 62 部(12 部教科书),6 部被翻译成多种语言;是多家期刊[英国埃尔塞维尔科学出版社的计算机与电气工程国际期刊、美国技术软件与信息(TSI)出版社的智能自动化和软计算杂志以及 IEEE 控制系统杂志]的创始编辑、联合创始编辑或主编。他是新 IEEE 系统杂志(2007 年创刊)的主编、控制与自动化国际期刊的联席主编;自世界自动化大会(WAC)创建后一直任该大会总主席,在 IEEE 活跃了 42 个春秋。Jamshidi 博士是对“大规模系统原理、应用与工程教育”作出贡献的 IEEE 院士,是对“机器人与制造系统控制”作出贡献的 ASME 院士,是对“复杂大规模系统及其在控制和优化方面的应用”作出贡献的 AAAS 院士。曾获 IEEE 百年奖、IEEE 控制系统学会杰出会员奖和 IEEE CSS 千年奖。2005 年 10 月,他被授予 IEEE 系统、人与控制论(SMC)学会的诺伯特韦纳研究成就奖,2006 年 10 月被授予 IEEE SMC 学会杰出贡献奖。作为美国俄勒冈州立大学的校友,他在 2007 年 2 月入选进入俄勒冈州立大学杰出工程师学院。2006 年创立 IEEE 系统系工程国际会议,并一直任该会主席。

撰稿人简介

Datu Buyung Agusdinata, 2008 年获荷兰代尔夫特理工大学博士学位, 与印第安那西拉法叶普渡大学的系统系特征领域组合作, 研究和应用定量方法处理能源、交通、基础设施和环境领域中复杂问题的不确定性。

Patrick T. Biltgen, 弗吉尼亚州阿灵顿英国宇航公司 (BAE) 首席系统工程师, 研究重点是利用建模和仿真工具对系统系进行基于能力的定量分析。在佐治亚州理工学院担任研究工程师时, 曾运用基于主体的模型对技术进步进行评价做过研究。其研究领域还包括系统工程方法研究、飞机设计和可视化分析。

Marcus Bjelkemyr, 瑞典斯德哥尔摩皇家理工学院 (KTH) 生产系统工程系博士生, 研究方向为大型和复杂的社会技术系统及其对生产系统的适用性。2004/2005 年间, 师从麻省理工学院的 **Nam Suh** 教授。除研究工作外, 还在皇家理工学院 (KTH) 生产系统院系执教并担任督导。

Richard R. Brooks, 南卡罗来纳州克莱姆森区克莱姆森大学电子和计算机工程副教授, 获约翰霍普金斯大学数学科学学士学位、路易斯安那州立大学计算机科学博士学位。1996 年至 2004 年在宾夕法尼亚州立大学工业工程部门工作, 曾任宾夕法尼亚州立大学应用研究实验室分布式系统部门负责人。

Dale S. "Butch" Caffall, 西弗吉尼亚州费尔蒙特国家航空航天局独立验证与确认所的主管, 研究领域是软件工程, 研究重点是用于软件和系统保证的方法、惯例和工具。

Reggie Cole, 洛克希德·马丁公司首席工程师, 一直担任项目总架构师、项目总工程师和工程经理, 研究领域包括企业和系统系体系结构、备选方案分析、资本投资分析、技术投资分析和技术替代分析。

Richard Colgren, 航空航天工程副教授、堪萨斯州劳伦斯的堪萨斯大学无人机实验室主管。他曾任洛克希德·马丁公司高级工程师。研究领域包括飞行器概念设计、研制和飞行试验以及飞行器自主式健壮飞行控制系统的研制和试验。

Doug Creighton, 获澳大利亚国立大学物理学学士和系统工程工程学士、澳大利亚迪肯大学“基于模拟的优化”物理学博士。现受聘为博士后研究员, 带领一个“过程建模和分析”团队。主要研究领域包括基于仿真的优化, 基于主体的体系结构、可视化方法、增强现实、触觉技术以及离散事件的仿真方法、工具和应用程序。

Daniel DeLaurentis, 印第安纳州西拉法叶普渡大学航空航天系助理教授, 2004 年加入系统系特征研究领域。重点研究领域是航空/航天运输系统和民用基础设施

系统的系统建模和分析方法及先进设计技术。

Charles E. Dickerson, 拉夫堡大学系统工程系主任, 曾是英国宇航系统公司的技术院士, 加入英国宇航公司之前, 在麻省理工学院林肯实验室工作, 是美国海军总工程师的主管。是国际表面结构大会 (IEEE ICSOS) 的签约人之一, 是国际系统工程理事会 (INCOSE) 体系结构工作组组长。在航空航天领域的经历包括, 在洛克希德 Skunk Works 和诺斯罗普的高级系统部从事飞行器的生存能力研究和设计工作, 在海军分析中心从事军事行动分析工作。1980 年获普渡大学博士学位。

Lars Dittmar, 荷兰乌得勒支大学科学、技术与社会学院成员, 在德国柏林理工大学能源系统系工作。研究领域涵盖能源经济模型建模、能源政策和可持续发展等。

Yutaka Hata, 日本兵库县立大学工程研究生院计算机工程处教授。研究领域是医疗成像、超声系统、应用模糊逻辑技术的生物传感器。也是日本大阪大学免疫学前沿研究中心的访问教授。

Ben Horan, 目前在澳大利亚迪肯大学讲授电子与机器人学, 处于攻读触觉和机器人研究领域博士的最后阶段。2006 年在德克萨斯大学圣安东尼奥分校 (UTSA) 自主控制工程中心与 Mo Jamshidi 教授共事。研究领域包括触觉、触觉遥控、移动机器人以及身临其境的操作界面。

S. Sitharama Iyengar, 巴吞鲁日路易斯安那州立大学计算机科学的客座教授, 也是班加罗尔印度科学院的客座教授。已发表的学术著作包括六部教科书、五部论著和 380 多篇研究论文。研究领域包括高性能算法、数据结构、传感器融合、数据挖掘和智能系统。是传感器网络计算方面的世界级专家。

Mo Jamshidi, 圣安东尼奥德克萨斯大学电气与计算机工程系的客座教授。研究领域为系统仿真、体系结构和控制以及它们在陆、海、空探测器上的应用。

Mark A. Johnson, 航空航天公司高级项目工程师, 2002 年获新墨西哥大学博士学位。从事空间技术、通信和加密系统、系统工程的研究和开发、建模、模拟和分析、采办、运作、成本和风险管理等工作 37 年之多, 经验丰富。在同美国国家航空航天局、美国空军和航空航天公司等部门打交道方面, 阅历丰富。

Michael Johnstone, 澳大利亚迪肯大学 (荣誉) 工程学士、迪肯大学工程与信息技术学院的在读研究生。研究方向为复杂网络的模拟和控制, 旨在创立各种算法, 有效确定不同使用条件下信息流经网络的情况。在各种模拟研究、行李处理系统、物流、仓储以及模拟研究管理的各个方面均富有经验。

Syoji Kobashi, 日本兵库大学工程研究生院副教授。研究领域是药品、医学图像和信号处理的计算机辅助诊断系统 (CAD)。已为脑、肺、胰胆管、髋关节、膝关节等疾病的诊断提出了许多计算机辅助诊断系统。

Vu T. Le, 澳大利亚皇家墨尔本理工大学医学工程 (荣誉) 工程学士、澳大利亚迪肯大学生产规划与进度编制工学硕士、迪肯大学复杂网络系统分析的博士研究

生。研究领域包括调度、复杂系统建模、离散事件仿真以及制造和物料处理系统的最优化。

Bengt Lindberg, 自 2000 年起出任生产系统工程教授至今, 并于 2005 年起出任瑞典斯德哥尔摩皇家理工学院(KTH)工业工程与管理学院院长至今。研究领域包括制造系统配置设计、数字投影以及制造工艺和设备。曾在斯堪尼亚货车公司(Scania Truck)工作了 15 年, 职业经历包括出任从生产工程和发动机生产到产品实现过程工具开发过程的各种职务。

Beverly Gay McCarter, 佛罗里达州立大学咨询心理学和人类系统理学硕士, 美术硕士。持有复杂环境下自组织系统领域证书, 主要关注人的动态和意识, 是 LLC 公司人体艺术系统部主管。其最新客户包括史密森学会和移民与海关执法部。

Min Meng, 孟菲斯大学计算机科学系在读博士生, 主要研究领域为传感器网络。

James Bret Michael, 加利福尼亚州蒙特里海军研究生院计算机科学与电气和计算机工程教授。所关注的领域是使软件密集型任务关键系统和安全关键系统获得高可靠性和高信任度的方法。

Saeid Nahavandi, 英国杜伦大学自动化和控制荣誉理学学士、硕士和博士, 获澳大利亚迪肯大学“阿尔弗雷德迪肯教授”称号, 是该校的总工程师、智能系统研究带头人。研究方向包括复杂系统建模、基于仿真的最优化、机器人、触觉和扩增现实性。

Hiroshi Nakajima, 日本京都欧姆龙公司资深咨询技术研究员。研究领域为基于因果的建模方法、人机协作系统以及用于医疗、能源消耗和机器维修的灵巧管理系统。

Laurence R. Phillips, 桑迪亚国家实验室技术参谋机构主要成员。目前的研究方向是网络攻击下关键基础设施的风险分析, 其他领域包括人工智能和基于主体的微网格运行。

Vikraman Raghavan, 德克萨斯州休斯敦石油公司的工程师, 印度钦奈电子技术物理学学士, 2007 年 6 月获圣安东尼奥得克萨斯大学电气和计算机工程系硕士学位。

Nageswara S. V. Rao, 计算机科学和数学部橡树岭国家实验室的合作研究员。研究领域包括高性能计算机网络、传感器网络和信息融合。

George Rebovich Jr., MITRE 公司指挥与控制中心高级首席工程师, 曾在 MITRE 系统工程部的多个职位上工作, 包括在先导技术部门和小组、直接主办的工程和技术项目中任职, 并担任过某 C4I 系统项目的首席系统工程师。

Stuart H. Rubin, 圣地亚哥空间与海上作战系统中心(SSC)太平洋信息、监视和侦察(ISR)部门的资深科学家和结构化专家系统随机扩增知识(KASER)项目的主管。研究领域包括计算创造力和知识发现系统, 重点研究启发式方法、渐进式方

法、模糊方法和基于随机化的方法。

Ferat Sahin, 纽约罗彻斯特理工学院电气工程副教授。研究领域是集群机器人、多主体系统、自主探测器系统系仿真、基于 MEMS 的微型机器人。

Daniel T. Semere, 博士, 瑞典斯德哥尔摩皇家理工学院(KTH)生产系统工程系资深研究员和讲师, 重点研究分布式系统体系结构, 尤其是自主分布式系统(ADS), 就 ADS 及相关领域编辑出版过多种出版物。其传记已列入 2007 年版的 Marquis 名人录(Who's Who)。自 2005 年以来, 除了担任研究工作, 还一直在皇家理工学院讲学, 指导生产系统研究生做论文研究课题。

Prasanna Sridhar, 2000 年印度班加罗尔大学计算机科学和工程的工程硕士、2003 年新墨西哥大学计算机科学理学硕士、2007 年新墨西哥大学计算机工程博士, 2006 年受聘为圣安东尼奥得克萨斯大学研究科学家助理。研究方向是嵌入式传感器网络、移动机器人、建模、仿真和计算智能。目前在微软公司工作。

Brian E. White, 威斯康星大学博士, 获麻省理工学院电子工程专业多个学位, 曾供职于林肯实验室和 Signaltron 公司。他在 MITRE 公司工作的 26 年中, 任过高级技术人员, 担任过项目/资源管理方面的职务, 最近担任 MITRE 的系统工程过程办公室主任。

Qishi Wu, 孟菲斯大学计算机科学系助理教授。研究领域包括传感器网络、计算机网络、科学可视化以及分布式高性能计算。

Mengxia Zhu, 卡本代尔南伊利诺伊大学计算机科学系助理教授。研究领域包括分布式和高性能计算、生物信息学和分布式传感器网络。

译 者 的 话

信息技术飞速发展，整个社会面临转型。转型面临的巨大挑战之一，是如何举各系统之力，形成新的能力，执行各系统各自所不能执行的任务，达成各系统所不能单独达到的目标。在这种背景下，人们日益关注近年出现的系统组成本身也是复杂系统的一类复杂系统。这类系统由众多相互独立、相互作用、自主运行的复杂系统组成，采用经典的系统工程进行组织和管理不能完全奏效，于是系统工程应运而生。

系统工程是一种新的系统工程模式。系统系和系统系工程的理论、技术和方法都处在不断丰富发展的阶段。尽管如此，其却被各界、各个领域广泛接受和践行，效果十分显著，充分显示出巨大的生命力和潜能。

本书系统地总结了近年来系统系和系统系工程理论、技术、方法的前沿研究和实践成果，涵盖系统系和系统系工程的基本概念、原理、建模、仿真、体系结构、控制、沟通、优化和应用等基础性论题，论及系统系工程之众多应用领域，缕述国家安全、交通运输、能源、防务、卫生健康、信息技术、服务业等以实证和实践经验对系统系和系统系工程的建立和发展作出的贡献。本书还提出了需要依靠理论和实证两方面的根本进步来解决的许多问题和课题，其中包括系统系工程标准的制定、应用和管理，发挥标准对系统工程建设和发展的作用。

本书的主编著者 Mo Jamshdi 一身膺数个学会和数国国家院士，乃知名学者、教授，发表技术论著 600 余部，于“大规模系统原理、应用与工程教育”、“机器人与制造系统控制”、“复杂大系统及其在控制和优化方面的应用”多有贡献，获奖多项，2006 年创立 IEEE 系统系工程国际联合会并一直任该会主席。本书的其余编著者都是从事系统系和系统系工程前沿研究和实践的教授、专家和学者。

本书对我国相应领域的研究者、教学者和实践者都具参考价值。

本书第 1 章、第 2 章、第 3 章和第 9 章由洪益群翻译，第 4 章和第 14 章由陈润翻译，第 5 章、第 6 章和第 7 章由曾繁雄翻译，第 8 章由丁树伟翻译，第 10 章和第 16 章由宋琦翻译，第 11 章由曾繁雄和殷冠喆翻译，第 12 章和第 18 章由侯春敏翻译，第 13 章和第 15 章由李鹏程翻译，第 17 章由殷冠喆翻译。全书由曾繁雄、洪益群校对。

译者学殖未深，疏漏难免，尚祈读者不吝指正，无任感幸！

译 者

目 录

编著者简介	
撰稿人简介	
译者的话	
第 1 章 系统系引论	1
Mo Jamshidi	
第 2 章 SoS 体系结构	29
Reggil Cole	
第 3 章 SoS 的突现性 社会认知	53
Beverly Gay Mc Carter and Brian E. White	
第 4 章 系统系仿真框架及其应用	77
Ferat Sahin, Mo Jamshidi, Prasanna Sridhar	
第 5 章 系统系的技术评价	99
Patrick T. Biltgen	
第 6 章 企业系统系	127
George Rebovich Jr	
第 7 章 系统系的定义、分类和方法论	149
Marcus Bjelkemyr, Daniel T. Semere, Bengt Lindberg	
第 8 章 系统系途径在制定减少碳排放政策中的应用	163
Datu Butung Agusdinata, Lars Dittmar and Daniel Delaurentis	
第 9 章 医药卫生管理系统系	187
Yutaka Hata, Syoji Kobashi, Hiroshi Nakajima	
第 10 章 微型电网系统系	203
Laurence R. Phillips	
第 11 章 基于传感器和计算机网络的集成智能决策支持系统	229
Qishi Wu, Mengxia Zhu, Nageswara S. V. Rao, S. Sitharama Lyengar, Richard R. Brooks and Min Meng	
第 12 章 系统系在防务中的应用	259
Charles E. Dickerson	
第 13 章 航空器系统	275
Richard Colgren	
第 14 章 自主探测器系统及其应用	301
Ferat Sahin, Ben Horan, Saeid Nahavandi, Vikraman Raghavan and Mo Jamshidi	

第 15 章 系统系在太空领域的应用	317
Dale S. Caffall, James Bret Michael	
第 16 章 航空港运营的系统系途径	331
Saeid Nahavandi, Doug Creighton, Michael Johnstone and Vu T. Le	
第 17 章 系统系设计中运用结构化专家系统随机扩增知识	345
Stuart H. Rubin	
第 18 章 系统系标准	371
Mark A. Johnson	

第 1 章 系统系引论

Mo Jamshidi

目 次

1.1 概述	2
1.2 系统系的定义	2
1.3 系统系中的问题	3
1.3.1 理论问题	3
1.3.2 操作层面问题	7
1.4 SoSE 的其他课题	12
1.4.1 系统系工程开放系统法	12
1.4.2 SoS 集成	12
1.4.3 SoS 工程	13
1.4.4 SoS 管理: 悖论管理	13
1.4.5 深水海岸警卫项目	14
1.4.6 未来作战使命	14
1.4.7 国防部系统系系统工程	15
1.4.8 传感器网络	15
1.4.9 卫生健康系统	16
1.4.10 全球观测系统系	16
1.4.11 通过 SoSE 实现飞机的 E(电子)设计和 SoS 设计	17
1.4.12 基础设施的系统系理念	18
1.4.13 服务业中的系统系途径	19
1.4.14 空间探索中的系统系工程	20
1.4.15 机器人群系统系	20
1.4.16 空间系统系通信和导航	20
1.4.17 国家安全	21
1.4.18 电网 SoS	22
1.4.19 SoS 途径应用于可再生能源	22
1.4.20 从系统系工程视角看可持续环境管理	22
1.4.21 运输系统	23
1.4.22 地面、海上和空中运载工具系统的系统系	24
1.5 结语	25
参考文献	25

1.1 概述

近年来,人们日益关注系统各组成部分本身亦很复杂的一类复杂系统。为了实现某项共同目标而融汇起来的一群各种各样的系统,它们的性能如何优化,健壮性和可靠性如何,已引起众多应用领域的关注。这些领域至少包括军事、安全、航空、航天、制造业、服务业、环境系统和救灾管理等[Crossley,2006; Lopez,2006; Wojcik and Hoffman,2006]。如何使这些彼此独立的系统相互发挥最佳协同作用,形成需要的总体系统性能,已经成为日益重要的课题[Azarnoosh 等,2006]。研究人员在文献资料中已论及系统系[System of Systems(SoS)]的协调和互操作性问题[Abel and Sukkarieh,2006; Dimario,2006]。SoS 是这样一种技术,它能更好地对形形色色的大规模、复杂和彼此独立的系统进行分析,使它们相互融汇,协同工作[Abel and Sukkarieh, 2006]。将这些系统看作 SoS 的内在动力,是为了获得比传统的系统观念更优的能力和性能。要而言之, SoS 概念是要从更高的高度来诠释各独立系统间的相互作用。然而, SoS 仍然是一个正在不断丰富发展的概念[Meilich,2006; Abbott,2006]。

SoS 的定义多种多样,下节将介绍其中的几种。不过比较实用的定义可能是:系统系是由众多其他要素为实现某项共同目标而组成的一个超系统,而这些要素本身又都是相互独立、相互作用、复杂的、能运行的系统。系统系的各个组成要素,即便脱离系统系的其他构成要素,亦可以完成其最基本的工作。例如,一架波音 747 飞机不是系统系,而是系统系的构成要素,但是一个机场则是一个系统系。又如,流浪者号火星探测器不是系统系,但是前往探测这个红色星球的机器人“殖民团”(或曰“机器人群”)则是一个系统系。当然,无论身处何方,“机器人群”都是一个系统系。下文将对 SoS 作些简要说明。围绕 SoS,还有许多问题和开放性课题,只有依靠理论和实证两方面的根本进步,方能逐步解决。本书即可视为循此目标前进的第一步。

1.2 系统系的定义

一份系统系调查报告指出,有许许多多的系统系定义[Jamshidi,2005; Sage and Cuppen,2001; Kotov,1997; Carlak and Fenton,2001; Pei,2000; Luskasik,1998]。本章不拟对这些定义做详细讨论,而是从中选出 6 种,加以介绍。

定义 1:企业系统系工程[Systems of Systems Engineering(SoSE)]的主旨乃是将传统的系统工程活动与企业的战略规划活动和投资分析活动联系起来[Carlock and Fenlon,2001]。

定义 2:系统系集成是致力于系统的开发、集成、互操作和优化,更好地实现

未来战场想定的一种方法[Pei,2000]。

定义3:凡呈现以下5大特征过半者,一般会存在系统系:独立运行、独立管理、地理位置的分散性、突现行为、渐进式发展[Jamshidi,2005]。

定义4:系统系是由若干复杂系统构成的多个大规模的、共同作用的分布式系统[Jamshidi,2005;Carlock and Fenton,2001]。

定义5:从联合作战角度来说,系统系关注的是C4I和ISR各系统的互操作性和协同作用(C4I:指挥、控制、计算、通信和信息;ISR:情报、监视、侦察)[Manthorpe,1996]。

定义6:系统系工程是将若干系统集成成为最终能对社会基础设施不断发展前进作出贡献的系统系[Luskasik,1998]。

有关这些定义的文献调查和论述的详细情况,请参阅参考文献[Jamshidi,2005,2008]。SoS的不同定义各有所持,是应用场合的产物。

本章撰稿人及本书编著者倾向的系统系定义是:系统系是经过整合的若干大规模系统,这些系统多种多样,可各自独立运行,但能为实现某个共同目标而协同工作。构建系统系的出发点,如前所述,可能是费用、性能和健壮性等。

1.3 系统系中的问题

与其他许多领域一样,SoS中也存在一些众所周知的问题。其中有些至今仍未解决,需要引起众多工程师和科学家的极大关注。没有哪一个工程领域比系统工程(SE)更加急需解决SoS问题。如果我们将SoS面临的工程问题列成一份清单,那么居于首位的一定是SoS工程,SoS工程已经导向一个新的领域——SoSE[Well and Sage,2008]。怎样扩充SE的一些概念,像分析、控制、估算、设计、建模、可控性、可观察性、稳定性、筛选和仿真等,从而使之能适用于系统系呢?在一系列众所周知的问题中,有一个是如何对这类系统进行建模和仿真的问题[参阅本书第4章,Sahin等撰]。本书用差不多整整一章的篇幅,专论建模与仿真问题。本书另补列若干参考文献,以飨读者。

1.3.1 理论问题

本节讨论SoS和SoSE面临的若干亟待解决的问题,主要是如何使SoS与所提出的工程需求之间实现融会贯通。换言之,SE需要大量创新性改变,以适应构建SoS的需要。

1.3.1.1 构建系统系解决方案的体系结构

Cole在本书第2章提出了SoS体系结构方案的理念。其中指出:系统工程师的任务不仅是找出问题,更重要的是对问题进行剖析,将一个问题分解为若干个可以管理的小问题,并逐一提出解决方案。解决方案的核心是构建体系结构。体系结构

是由系统的各个组成部分、各个组成部分之间的相互关系、各个组成部分与环境之间的关系以及指导系统设计和演进的原则所体现出来的一个系统的基本结构[ANSI/IEEE—1472(美国国家标准学会/(美国)电气与电子工程师协会标准),2000]。虽然在进行系统的设计阶段尚不可能把握体系结构的所有特性和后果,但却有可能形成这样的系统体系结构,使系统能力最大化,既满足用户的需求,又将意外后果减至最少。

在某种意义上,构建一个复杂系统(即由若干个彼此独立而共同合作的系统组成的系统)的体系结构,较之设计一个单一系统,其工作性质并无二致。两者都是始于提出问题,止于拿出解决方案;都要求考虑环境背景;都要求分析效能要素;乃至都要对各种正在竞争的要求进行设计折衷和平衡。一言以蔽之:基本过程相同。此点已为近50年的文献资料所完全证实[Asumow,1962]。当然,较之设计单一系统,设计一个系统系解决方案,其复杂性令人生畏,实际设计过程也与这种复杂性成正比。本书第2章将对此作详细阐述。

Dagli 和 Ergin[2008]亦就 SoS 体系结构提出了一种框架。第2章的作者认为,世界正在向着网络社会迈进,企业和政府都要求使用能呈现出智能行为的集成系统。环境和工作条件无不千变万化,这就要求系统的体系结构既要满足整个任务的需要,又与“变”俱进,一旦任务有变,随即发展变化为新的系统体系结构。面对这一新的富有挑战性的要求,新的工作方式应运而生。企业和政府不再是从零开始设计系统或把系统转包出去,而是要求获得工业界研制的最好系统,因而关注那些正在成为提供 SoS 的系统主集成商。SoS 是一组相互依赖的、为完成某项共同任务而相互关联或连接起来的系统。在 SoS 环境下,现有系统给体系结构施加的各种约束,会对系统的能力、要求和行为产生重大影响,从而加剧系统体系结构构建活动的复杂性,对此应予重视。总之,体系结构在能力发展中处于绝对支配地位,但却是一个易于混淆不清的概念。需要不断推动系统体系结构构建研究,应对 SoS 环境新需求提出的挑战。第2章讨论的一个重点是如何通过建立元体系结构将不同的系统集成起来,构建系统系体系结构。第2章举了几个例子,意在说明构建系统系体系结构的几种方案。由于技术基础、组织的需求乃至人自身的需求无不处于不断发展变化之中,所以系统系体系结构的构建也是一个不断发展变化的过程。随着系统系主人的经验不断积累,随着系统投入实际使用,系统系的组成和功能都会有增、有减、有改。所以本书所介绍的是一种能够不断演进的系统体系结构构建,同时讲清构建过程中会遇到的挑战。最后,第2章的作者还介绍一些寿命仿真工具,用于 SoS 的设计和体系结构构建。不少寿命仿真工具,如群体智能、演进计算和多主体系统都已经成功用于复杂自适应系统的分析。该作者拟通过若干专门例证,介绍这些工具在 SoS 分析和体系结构构建方面所能发挥的作用。

1.3.1.2 系统系的突现性 社会认知

McCarter 和 White 在本书第3章论述如何站在以人为中心的认知高度上研究系