



国防电子信息技术丛书

System of Systems Engineering
Innovations for the 21st Century

系统工程

——基础理论与应用

[美] Mo Jamshidi 主编

许建峰 郝政疆 黄辰 孔瑞远 等译



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

国防电子信息技术丛书

体 系 工 程

——基础理论与应用

System of Systems Engineering
Innovations for the 21st Century

[美] Mo Jamshidi 主编

许建峰 郝政疆 黄 辰 孔瑞远 译
王若刚 李欣欣 沈艳丽 肖桃顺

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是 Wiley 系统工程与管理丛书的一部分, 聚焦“体系工程”这一新兴方法, 旨在解决大型复杂系统所面临的问题。本书汇集了多个国家工业界和学术界专家的智慧, 详尽阐述了开放性、工程、架构、建模、仿真、网络中心化、突现性和管理等基本问题, 以及体系工程在国防、服务、航空、交通运输、医疗、能源、机器人、基础设施和环境等多个领域中的应用。这些不同专家的视角不仅定义了体系工程中将要面临的挑战, 也提供了一些相应的解决方法, 是理论和实践相结合的典范。本书是能源、医疗、交通及军事等相关领域系统工程师不可或缺的参考材料。

System of Systems Engineering: Innovations for the 21st Century, 9780470195901, Mo Jamshidi Copyright © 2008, John Wiley & Sons, Inc.

All rights reserved. This translation published under license.

No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of John Wiley & Sons, Inc.

本书简体中文版专有翻译出版权由美国 John Wiley & Sons, Inc. 公司授予电子工业出版社。未经许可, 不得以任何手段和形式复制或抄袭本书内容。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2013-4133

图书在版编目 (CIP) 数据

体系工程: 基础理论与应用 / (美) 贾姆什迪 (Jamshidi, M.) 主编; 许建峰等译.

—北京: 电子工业出版社, 2016.9

(国防电子信息技术丛书)

书名原文: System of Systems Engineering: Innovations for the 21st Century

ISBN 978-7-121-27083-3

I. ①体… II. ①贾… ②许… III. ①系统工程—研究 IV. ①N945

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 206396 号

策划编辑: 张小乐

责任编辑: 张小乐 特约编辑: 郭 莉

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 27.5 字数: 704 千字

版 次: 2016 年 9 月第 1 版

印 次: 2016 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 120.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: zhxl@phei.com.cn。

译者序

随着网络和信息技术的高速发展，在过去的几十年里，各个行业都产生了大量的应用系统，这些系统显著推动了相关领域的发展。进入 20 世纪 90 年代后，信息数据的规模开始呈现出几何级数的增长，越来越多的大规模系统随之产生，但在面对越发复杂和多变的需求时，这些系统或能力有限，或使用周期较短，为此人们不得不考虑建立更大规模的系统。于是，系统之系统（System of Systems）——即“体系”这一概念逐渐走进人们的视线，通过将多个系统汇合（并非简单地集成）在一起，实现更多或更大的能力，而同时又保留这些系统各自的独立性。为了达到这一目的，随之而来的则是体系工程，旨在对传统系统工程的思维与方法进行扩展，用以解决多种多样复杂系统汇合在一起形成体系时的工程化问题。

近些年，国外学者及研究机构对体系工程开展了很多研究，其中以美国为首，其在 2005 年就成立了体系工程研究中心（SoSECE, system of systems engineering center of excellence）和欧道明大学的美国国家体系研究中心（NCSOSE, national center for system of systems engineering）。此外，美国的麻省理工大学、普度大学、MITRE 公司以及荷兰的戴尔福特大学等机构都对体系工程开展了相关研究，IEEE 也从 2006 年开始举办体系工程的专题年会。这些研究促进了体系工程研究的发展，并取得了诸多成果。相比国外，国内关于体系和体系工程的研究虽然也正在快速发展，但研究成果相对较少，并且缺少专业化的体系工程研究团队。

译者在从事综合电子信息系统的设计与开发工作中，遇到了多个领域复杂系统的集成问题，深切认识到体系工程的必要性，有鉴于有关体系工程的中文书籍非常少，译者对 *System of Systems Engineering: Innovations for the 21st Century* 一书进行翻译，以飨读者。本书是多位行业专家关于体系工程的观点和视角的汇总，既有对开放性、网络中心化、突现性和管理等基本问题的探讨，又有对体系工程在交通运输、医疗、太空等领域中实际应用的分析，内容丰富翔实，是一本不可多得的体系工程专著。全书共 22 章，其中第 1 章对体系进行了整体介绍，第 2~8 章探讨体系工程的一些基本问题，第 9~22 章详细分析了体系工程在不同领域的应用。

本书适合于能源、医疗、交通及军事等相关领域的系统工程师以及对体系工程感兴趣的各领域读者学习或参考。阅读本书，读者可以对体系和体系工程的概念有更深刻的认识，可以了解到太空探索、交通运输、电力系统等领域一些非常有趣的故事、一些令人难以忘记的挑战以及令人叹为观止的解决方法，可以学习到如何利用体系工程方法来高效地治理大规模、复杂、独立的系统，使这些异构的系统能够协同工作，还可以有其他诸多收获，不一而足。

在本书的翻译过程中，译者得到了中国电子科技集团公司电子科学研究院领导、电子工业出版社以及许多专家的支持，在此表示感谢。参与本书翻译工作的有邓彦伶，姬慧莲，李耐和，李硕，马雪峰，孙操，孙毓，魏凡，武宁，徐斌，曾倬颖，张进，周曼，在此一并表示感谢。

译者

2016 年 6 月

前 言

21 世纪, 信息科学技术将继续对系统工程带来巨大且重要的裨益, 它将继续重新定义工业、能源、防御、安全、环境等产业中的规划问题。系统工程当今也正在经历着一场深层的变革以拓宽自己本身单一系统的格局。近年来, 一系列组成成分复杂的复杂系统受到越来越多的关注。这些系统有的被称为体系 (System of Systems, SoS) 或者系统联邦 (Federation of System, FoS)。在多个异构系统中, 为了实现共有的统一目标, 如何保证其性能最优化、鲁棒性、可靠性成为了多领域应用研究的热点, 这些领域涉及军队、安全、航空、航天、生产制造业、服务行业、环境系统以及灾难管理等。随着对如何通过这些独立系统的协同配合来获取全局系统理想性能的关注越来越多, 体系的协同交互成为了关键性的问题。体系技术被认为可以更高效地实施并分析大规模、复杂、独立、混合系统, 以利于它们协同工作。从体系的角度去分析, 主要是因为其较之传统系统的分析方法, 可以获得更高的性能和能力。体系的概念呈现了更高级别的视角, 阐释了独立系统间的相互作用。但是, 要形成体系工程体系以及工具, 我们还有很长的路要走, 这便是这本书的主要目的。书中共 22 章, 其中 8 章介绍基本问题, 包括开放性、工程、结构、建模、仿真、网络集成、突现性、技术评估以及体系管理。另外, 一系列章节阐述了当今具有发展潜力的体系应用技术发展现状, 包括防御、服务、民航、交通系统、健康保健、太空探索、太空交流、地球观察研究、机器人技术、基础设施系统、电力系统、微网系统、环境影响等, 集结了全球的相关领域专家。全书内容的结构安排如下: 第 1 章, 给出简要介绍。第 2~8 章, 考量系统工程中的基本问题, 列出体系观点视角的提纲。第 9~22 章, 详细分析在应用领域的研究。

本书能有幸被收入 Wiley 系统工程与管理丛书, 离不开来自美国、日本、荷兰、加拿大等国工业界和学术界的各位专家作者的辛勤努力以及他们给予本书的鼎力支持。编者在此对他们为体系技术做出的辛勤奉献致以诚挚谢意。衷心感谢该系列的编辑以及第 3 章作者 Andrew. P. Sage 先生, 感谢他的鼓励以及支持促成了本书的出版。感谢我的指导老师给予我的教导, 从俄勒冈州立大学 (1963—1967) 到伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校 (1967—1971), 帮助我完成了在系统和控制学上的学习, 形成了我的专业体系。最后, 我想要向我的妻子 Jila Salari Jamshidi 致以衷心的感谢, 感谢她 34 年来的陪伴以及绵延的爱和鼓励。

Mo Jamshidi

美国, 得克萨斯州, 圣安东尼

2008 年 5 月 10 日

作者简介

Mo Jamshidi, 电气电子工程师学会 (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。于 1967 年 6 月获俄勒冈州立大学电气工程学士学位, 1971 年 2 月获伊利诺伊大学厄巴纳 - 香槟分校电气工程硕士及博士学位。1999 年获阿塞拜疆国立大学名誉博士学位, 2004 年获加拿大滑铁卢大学、希腊克利特理工大学名誉博士学位, 目前是 Lutcher Brown 授予的得州大学圣安东尼奥分校客座教授。他还是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。他共发表技术文献 600 余部, 包括著作和编著 63 部 (其中 12 部教科书), 6 部被翻译成多种语言; 是多家期刊 [英国爱思唯尔 (Elsevier) 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”做出贡献的 IEEE 院士, 是对“机器人与制造系统控制”做出贡献的 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”做出贡献的 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 (Norbert Wiener) 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 体系工程国际会议, 并任该会主席直至 2009 年。

参编者简介

Cyrus Azani, Northrop Grumman 公司高级系统工程师, 美国马里兰大学兼职教授。研究领域包括体系工程, 结构以及评估, 开放结构策略, 实施以及评估, 多重判据的决策模型建模及其方法。

Kul B. Bhasin 任美国航空航天局格伦研究中心 SCan-Constellation 集成项目结构发展团队负责人。在美国航空航天局即将开展的探测任务中, 主要负责针对体系环境中通信网络结构的开发工作。

John Boardman, 毕业于利物浦大学电气工程系, 获博士学位, 并获一等毕业生荣誉。目前任史蒂文斯理工大学系统和产业学院特聘教授。在此之前, 他于英国朴茨茅斯大学系统工程系先后任 GEC Marconi 教授、学院主任以及院长。他是工程与技术学院的特许工程师, 是系统工程国际委员会的院士 (INCOSE)。

Rajendra V. Boppana, 美国得克萨斯大学计算机科学系的教授。研究重点包括无线传感网络, 安全路由, 入侵监测技术, 自动化计算, 以及通信。

Suresh Chalasani, 美国威斯康星大学帕克赛德分校商务系的助理教授和主席。他的研究兴趣包括供应链管理, 健康保健管理, 以及新型技术。

Robert J. Cloutier, 美国史蒂文斯理工学院系统和产业学院的研究助理教授。研究重点包括基于模型的系统工程, 系统结构, 参照结构, 系统工程模式, 模型驱动型结构。他从事系统工程和结构软件工程 20 余年, 在商业和国防工业的项目管理上有丰富的经验。

Cihan H. Dagli, 美国密苏里科技大学系统工程和工程管理系的教授。Dagli 博士也是公共系统国际杂志智能系统设计领域的编辑, 同时任密苏里科技大学智能工程系统研究室 (SESL) 的主任。他在中东理工大学先后取得工业工程学士、硕士和博士学位。于英国伯明翰大学从事大规模系统设计和操作的研究。

Judith S. Dahmann 博士是 MITRE 公司认知系统中心的首席高级科学家。此前, 她曾任美国国防部防御建模和方针办公室的总科学家, 领导了高层方针架构 (现称为 IEEE 1516) 的研究。她于达特茅斯学院用一年时间以特别学生的身份获得学士学位, 之后于芝加哥大学获得硕士学位, 于约翰·霍普金斯大学获得博士学位。

Daniel A. DeLaurentis 于 2004 年任普度大学航空与航天学院的助理教授, 从事体系署名领域 (System of Systems Signature) 的研究。他的研究兴趣包括体系建模和分析方法, 应用于航空航天器系统的高级设计技术。

Michael J. DiMario, 任美国航空航天公司高级项目经理, 负责体系指挥控制项目。他也是史蒂文斯理工学院系统和产业学院的一名博士研究生。他的研究兴趣包括体系工程, 复杂系统间的互操作。他在工程系统和软件项目方面具有 25 年的管理经验。

Michael Duffy 博士, 美国指挥系统工程师, 任职于美国国家再生能源实验室能源氢项目部。他在能源、安防、安全、核浪费管理、国防、交通、太空项目上有 35 年的系统工程经验。

Liping Fang, 现为加拿大瑞尔森大学机械与工业工程系的教授和主席。他的研究兴趣包括系统工程, 工业工程, 多参与多目标的决策制定, 以及决策支持系统。

Bob Garrett, 美国国家再生能源研究室战略发展与分析部门的副主任。她有 29 年技术上的领导经验, 专注于推进能源、环境、防御和健康领域的新科技。

Alex Gorod 于佩斯大学获得信息系统的学士学位以及通信系统的硕士学位。在学校期间, 他师从 Salomon Smith Barney 进行研究分析。现在他任史蒂文斯理工大学工程管理系 Robert Crooks Stanley 博士研究员, 研究兴趣集中在复杂系统管理。他也是系统工程国际委员会史蒂文斯学生联盟 (INCOSE) 的副主席。

Jeffery L. Hayden, 美国航空航天局的空天系统工程师和美国国防部通信架构顾问。他的研究兴趣包括空天通信体系系统、网络体系架构发展、空天通信网络设计工具和数据库, 航空器设计、探测任务概念的实施以及科学仪器的设计。

Paulien M. Herder, 现任助理教授。毕业于荷兰代夫特科技大学, 1994 年获得化学工程学士学位, 1999 年获得系统工程博士学位。现今的工作集中在科技、政策以及管理领域的研究, 她是下一代基础设施建设项目中“灵活性基础设施”子课题的联合负责人。

Keith W. Hipel, 加拿大滑铁卢大学系统设计工程的教授。他的研究兴趣包括冲突解决、多目标决策、时间序列分析技巧、水资源管理应用、水文地理学、环境工程、可持续发展。

Ian A. Hiskens 是威斯康辛-麦迪逊分校电气与计算机工程的教授。他主要的研究兴趣包括电力系统分析, 特别是暂态分析、安全分析和数值分析技巧。其他的研究兴趣还包括非线性和混合动态系统及其控制。

Mo Jamshidi, Litcher Brown 所授予的得克萨斯大学电气与计算机工程系客座教授。他的研究领域包括体系工程仿真、结构和控制及其作用于陆地、海洋、大气环流的应用。

Steve D. Jolly, 美国航天航空公司的高级系统工程师。他曾致力于多个深度太空任务, 包括火星 98 (Mars 98), 火星奥德赛 (Mars Odyssey) 以及火星侦察轨道飞行器 (Mars Reconnaissance Orbiter)。最近, 他正在支持猎户座项目 (乘员探索飞行器), 以及火星科学实验室 (MSL) 项目。他同时对科罗拉多大学系统工程系三课程联合的毕业生培养计划提供支持和帮助。

Charles B. Keating, 弗吉尼亚大学工程管理和系统工程教授, 体系工程国家中心主任。他的研究兴趣包括体系工程、复杂系统探究方法, 以及研究开发系统管理。

D. Marc Kilgour, 劳里埃大学数学系的教授。主要负责劳里埃大学军事战略与裁军的冲突分析研究, 担任沃特卢大学体系工程的助理教授。他的主要研究兴趣是多约束多参与者的最优化决策, 其中包括防止恐怖袭击、电力共享、公平分配、表决投票、协商以及基础设施管理。

Nil Kilicay-Ergin, 密苏里科技大学系统工程系博士后。她于密苏里-罗拉分校获得系统工程博士学位。研究兴趣为体系分析, 复杂自适应系统, 人工生命以及金融市场。

Petr Korba, 博士, ABB 公司研究部电力和控制系统的首席科学家。研究兴趣包括具有鲁棒性和自适应能力的控制、模型认知和参数预测技术, 以及这些技术在电力系统中的运用。

Asad M. Madni 曾任 BEI 科技公司的总裁以及主运行官, 现退休。他现在是美国克罗克资本的主科技官和执行管理负责人。研究领域包括无线传感网络, 智能传感器及其系统的小

型化、航天和国防的信号处理、自动化交通，以及工业和商业应用。

José Luis Risco Martín, 西班牙康普顿斯大学助理教授。他于 2004 年获得康普顿斯大学博士学位。研究兴趣有计算机理论建模和仿真，特别是 DEVS，嵌入式系统的动态储存管理和网络中心计算。

Saurabh Mittal, 印度 Dunip 科技公司的奠基人和 CEO。他曾于亚利桑那大学电气与计算机工程系获得博士学位，既而任研究助理教授。研究领域包括：基于网络利用 SOA 的 M&S，可执行架构，分布式仿真，以及利用 DoDAF 的体系工程。可以通过 saurabh.mittal@duniptechnologies.com 与他联系。

Brian K. Muirhead, 美国航空航天局星座项目的项目系统工程师。负责美国月球及意外的人类探测项目的体系架构研究。

Amer Obeidi, 加拿大滑铁卢大学管理科学系讲师。他的研究兴趣集中在基于不同复杂层级认知和感知的冲突模型和决策的集成系统，及其在军队和国防安全决策、战术布置上的应用。同时他也致力于环境和社会问题的研究。

Jay S. Pearlman, 博士，波音公司 NCOC&EM 主任工程师，GEO 结构和数据委员会联合主席。研究领域及重点为体系工程结构、海洋研究、信息系统。同时在远程传感及应用和空气观测方面也积极开展研究。

Hans W. Polzer, 洛克希德·马丁公司高级研究员，该工程和技术机构高级概念分支的在网络中心集成部工作。他管理实施了该公司的网络中心评价项目在网络中心实施产业财团(NCOIC)中位于领先技术。研究兴趣包括：有关系统愿景、内容、范围的多样性研究以及系统制度的研究。

Cynthia Riley, 美国生物质能部国家再生能源研究室导联系统集成师。具备 30 多年在能源和环境产业方面的工程经验，专注于新能源技术的分析和评价。

Andrew P. Sage, 在 Citadel 大学获得电气工程学士学位，麻省理工学院获得电气工程硕士，普度大学获得电气工程博士学位。分别于 1987 年获得加拿大滑铁卢大学工程专业，于 1997 年获得戴豪斯大学名誉博士学位。曾经执教于亚利桑那大学、佛罗里达大学以及南卫理公会大学。在弗吉尼亚大学的 10 年时间，他成为了教授也成为了该校系统工程系的第一主席。1984 年在乔治梅森大学他成为信息科学与工程系的首席美国银行教授，在 1996 年他当选信息科学与工程系的首席院长。1996 年 5 月，他当选名誉创始院长以及该大学教授。他曾分别当选 IEEE, AAAS, ICSE 院士，任 John Wiley 系统工程和管理系列教科书的主编，IN-COSE Wiley 期刊主编，系统工程国际委员会主编。2004 年他当选美国工程院会员。他的研究兴趣是系统工程和管理相关的应用领域，包括系统集成和建设，系统再工程，工业环保以及可持续发展。

Ferat Sahin, 美国罗彻斯特理工大学副教授。他的研究领域覆盖蜂群机器人技术，多主体系统，体系工程仿真，以及基于 MEMS 的微型机器人。

Debra Sandor, 美国国家可再生能源研究室美国能源部能源生物质计划的导联系统工程师。她有 18 年在工程和能源研发经验，专注于评估和报告在代用交通燃料和新能源方面所取得的技术上的进展。

Brian Sauser, 美国得克萨斯 A&M 大学学士，美国新泽西州立大学硕士，以及史蒂文斯理工大学博士。现就职于史蒂文斯理工大学系统和企业学院副教授。他的研究兴趣是复杂系

统管理中，消除系统工程和项目管理中隔阂的理论、工具和方法。这其中涉及随着生物系统、企业成熟性评估、企业管理和企业能力评估的发展而发展的系统理论知识。

Ryosuke Shibasaki，东京大学教授以及东京大学空间信息科技中心主任。他的研究兴趣包含城市环境中移动和静止物体的寻址/跟踪技术，基于人体行为感知的内容认知服务，空间数据设施的计划设计及其在异构系统中的应用。1980 年他毕业于东京大学土木工程系。在公共事业研究所建设部工作六年之后，他回到东京大学任助理教授。1998 年，成为东京大学空间信息科学中心的教授，自 2006 年担任该中心主任。2006 年，他成为地球观察群 GEO 结构与数据委员会（ADC）的联合主席。

Prasanna Sridhar，2000 年于印度班加罗尔大学获得计算机科学与工程专业学士学位，先后于 2003 年、2007 年于美国新墨西哥大学获得计算机科学硕士和博士学位。2006 年，他在圣安东尼奥加入得克萨斯大学担任研究科学助理。他现在的研究兴趣集中在嵌入式传感网络，移动机器人，建模和仿真以及计算智能。现在，他任职于微软公司。

Wil A. H. Thissen，物理学硕士，系统和控制工程博士，是荷兰代夫特科技大学技术政策管理教工会政策分析系的主任和教授。他的研究兴趣落在解决复杂大规模多参与系统的方法工具，特别是基础设施研究领域的问题。

James M. Tien，于伦斯理工学院（RPI）获得电气工程学士学位，于麻省理工学院获得电气工程硕士和博士学位。先后就职于贝尔通信实验室、Rand 公司、结构体系决策公司（1974 年联合参与创立）并担任领导岗位。他于 1977 年加入 RPI 电气计算机系统工程系，担任执行主席。加入交叉学科研究决策科学和工程系统系，并担任创始主席。曾两次当选工程院长。2007 年，他加入迈阿密大学担任荣誉教授和工程学院院长。他的研究领域以及兴趣包括针对信息和决策系统的计算机系统分析技术的应用。他发表颇丰，曾多次被邀请担任大会报告的主讲，且荣获教学和研究两个领域的大奖，包括 IEEE、INFORMS 和 AAAS 院士，其中被评为 IEEE 乔瑟夫杰出事业奖，IEEE 重大教育创新奖，IEEE Norbert Wiener 奖，IBM 教员奖。他是多个美国以外大学的名誉教授。他还当选美国国家工程学院的院士。

Gary D. Wells，任职于美国联邦政府高级系统工程师，有国家空间系统采集和系统工程方面 15 年的工作经验。他是乔治曼森大学的博士研究生。他的研究兴趣包括体系工程及其管理。

Nilmini Wickramasinghe，就职于伊利诺伊科技大学斯图亚特商科研究生院，担任医学科技中心的助理教授和副主任。她的研究兴趣包括医学技术有关的管理、e-健康保健以及健康保健的知识管理。

George F. Wilber，波音公司仿真事业研究发展组技术研究员。他的专业领域立足复杂软件计算算法和空中计算和网络系统的结构设计。

Bernard P. Ziegler，美国亚利桑那大学电气与计算机工程教授，集成建模和仿真亚利桑那中心主任。他致力于开发 DEVS 方法用以检测端到端的互操作任务、检测美国国防部产品的有效性以及利用产品自身面向服务的架构转换为全球信息栅格等工作。

目 录

第1章 体系介绍	1
1.1 概述	1
1.2 体系定义	1
1.3 体系中的挑战性问题	2
1.3.1 理论问题	2
1.3.2 实施问题	5
1.4 总结	14
参考文献	14
第2章 实现体系工程的开放式系统方法	16
2.1 引言	16
2.2 开放式系统的概念	17
2.3 开放式系统的原则	18
2.3.1 开放接口的原则	19
2.3.2 协作的原则	19
2.3.3 自治的原则	20
2.3.4 突现的原则	21
2.3.5 保护的原则	21
2.3.6 可重构的原则	22
2.3.7 互利的原则	22
2.3.8 模块性的原则	23
2.4 实现体系工程的开放式系统方法	23
2.5 总结	29
2.6 讨论问题	30
参考文献	30
第3章 体系工程	32
3.1 引言	32
3.2 背景	33
3.2.1 角色和职责	33
3.2.2 传统系统工程与体系工程	33
3.2.3 ISO/IEC/IEEE 15288 系统工程——系统生命周期过程	34
3.3 定义	35
3.3.1 系统（目标系统）	35
3.3.2 体系	36
3.3.3 系统联邦	37

3.3.4	体系工程和目标系统工程	38
3.3.5	首席系统整合师 (LSI)	38
3.3.6	企业系统工程	38
3.3.7	复杂系统	38
3.3.8	复杂自适应系统	39
3.4	体系工程的动机	39
3.4.1	政府会计办公室的研究	39
3.4.2	国防科学委员会/空军科学顾问委员会关于国家太空安全计划采购的研究	39
3.4.3	太空系统	40
3.5	联邦制度的管理原则	40
3.5.1	Handy 五原则	41
3.5.2	Handy 五原理	42
3.6	结构化方法——为系统工程定义人员角色和职责	43
3.6.1	定义关键术语和概念	44
3.6.2	为系统工程和管理功能开发框架	44
3.6.3	总结与体系工程及管理相关的挑战	45
3.6.4	构建体系内各系统工程团体间的信息流模型	45
3.6.5	评估 Handy (1992) 的联邦制度原则和原理应被实行至何种程度	45
3.6.6	通过调整 ISO/IEC/IEEE 15288 中的协议流程把角色和职责用文件记录下来	46
3.6.7	示例	46
3.7	涉及体系工程的案例研究	49
3.7.1	验证	49
3.7.2	案例学习研究的好处	53
3.8	总结	54
	参考文献	54
第4章	体系架构	57
4.1	复杂系统结构	57
4.1.1	复杂系统的属性	57
4.1.2	体系	58
4.1.3	体系架构对比系统架构: 架构挑战	59
4.2	可进化的系统架构	60
4.2.1	全球信息栅格	61
4.2.2	网络中心化运作	62
4.2.3	动态变化的元架构	62
4.3	体系架构支撑器: 人工生命的作用	64
4.3.1	群体智能	66
4.3.2	多个体模型	67

4.3.3 可进化的建模	67
4.3.4 架构突现行为分析	68
4.4 总结	69
参考文献	70
第5章 体系工程建模与仿真	72
5.1 介绍	72
5.1.1 互操作性级别	73
5.2 M&S 基础框架回顾	74
5.2.1 DEVS 建模和仿真	76
5.2.2 XML 和 DEVS	76
5.3 基于模型的工程	77
5.4 SoS 体系结构建模: DoDAF、UML 和系统工程法则	79
5.5 使用 DEVS M&S 进行系统的系统测试和评估	81
5.5.1 DEVS 测试和评估的技术状态	81
5.5.2 把基于模型连贯性的生命周期方法分为两部分	82
5.6 试验框架概念	83
5.7 SoS 测试和评估试验框架	84
5.8 DEVS 统一处理过程和其面向服务的实现	85
5.8.1 DEVSML 的协同运作开发	87
5.8.2 DEVS/SOA: 使用仿真服务的网络中心化实现	88
5.8.3 完整的 DEVS 统一处理过程	90
5.9 应用: 无线异构传感器网络下的体系工程仿真	93
5.9.1 SoS 的威胁探测仿真(数据搜集)	95
5.9.2 小结	98
5.10 应用: 代理实现测试仪器系统	98
5.10.1 示例: 协作会话计时仪器	98
5.10.2 分布式测试联盟	99
5.10.3 分布式多级测试联盟	100
5.10.4 分析能力	103
5.10.5 测试仪表系统的校核/验证	103
5.10.6 潜在的问题和缺点	104
5.11 总结	105
参考文献	106
第6章 网络中心化和体系	109
6.1 网络中心化综述	109
6.2 网络支撑的系统交互	111
6.2.1 按需提供信息	111
6.2.2 按需提供服务	112
6.2.3 普遍性和连通性程度	112

6.2.4 语法和语义协同能力	113
6.3 服务交互的机构范围和上下关联表示	113
6.4 信息保证	114
6.5 网络中心化体系架构	115
6.5.1 面向服务的架构	115
6.5.2 一个简单的网络中心化体系架构的例子	116
6.5.3 网络中心化 SOA 的诞生	116
6.5.4 人在 SOA 中的角色	117
6.5.5 形成网络中心化架构文档资料	117
6.5.6 网络中心化 SOA 的公共部分	117
6.5.7 NCE 架构考虑	118
6.5.8 网络中心化系统架构师的角色	119
6.6 结论	120
参考文献	121
第 7 章 体系的突现性	122
7.1 体系问题域	122
7.1.1 体系问题域的特性	123
7.1.2 体系工程	124
7.2 突现性的性质	125
7.2.1 突现性的哲学看法	126
7.2.2 突现性的方法论观点	127
7.2.3 突现性的公理基础	129
7.3 应对突现性	131
7.3.1 体系中应对突现性的设计考虑	131
7.3.2 运作并维护突现性考虑	134
7.4 对认识和挑战的总结	134
参考文献	135
第 8 章 体系管理	137
8.1 引言	137
8.2 构筑基础：体系哲学	138
8.3 体系管理中的悖论	139
8.3.1 边界悖论	140
8.3.2 控制悖论	140
8.3.3 团队悖论	141
8.4 构建背景：体系特征	143
8.4.1 自治性	143
8.4.2 从属性	144
8.4.3 连通性	144
8.4.4 多样性	145

8.4.5 突现性	145
8.4.6 这些特征的悖论	146
8.5 描述一个体系——纽约黄色出租车系统案例研究	148
8.5.1 自治性	149
8.5.2 从属性	149
8.5.3 连通性	149
8.5.4 多样性	150
8.5.5 突现性	151
8.6 总结	152
参考文献	153
第9章 国防部体系工程	157
9.1 背景	157
9.2 体系工程的国防部考虑	158
9.3 目前国防部的体系	159
9.4 系统地比较系统和体系	160
9.5 体系工程的核心元素	161
9.5.1 将体系能力目标转换成随时间变化的高级需求	161
9.5.2 理解体系的组成部分及其随时间变化的关系	162
9.5.3 评估体系随时间变化满足能力目标的范围	162
9.5.4 开发、演进并维护体系的设计	162
9.5.5 监控并评估体系性能变化产生的潜在影响	162
9.5.6 在体系和解决方案可选项上应对新需求	162
9.5.7 精心策划的体系升级	163
9.6 体系工程的突现法则	163
9.7 未来方向	164
感谢	165
参考文献	165
第10章 波音公司电子支持商用航线的体系工程方法	167
10.1 波音电子支持介绍	167
10.2 波音的电子支持航线项目规划	168
10.2.1 捆绑思路	169
10.3 波音电子支持技术体系结构	170
10.3.1 机载必需体系结构	171
10.3.2 机载必需体系结构要素	172
10.3.3 映射到实现	176
10.3.4 基础设施实现	176
10.4 电子支持应用	178
10.4.1 电子飞行包	179
10.4.2 飞机健康管理	179

10.4.3 维护性能工具箱	179
10.5 电子支持的波音 787	181
10.6 波音 787 的波音 Gold Care	181
10.7 总结	183
第 11 章 关于基础设施的体系观点	184
11.1 概念	184
11.2 通用概念和模型	185
11.2.1 关于参考模型：基础设施层次模型	185
11.2.2 行业比较	186
11.3 可持续的居住型能源基础设施	188
11.4 灵活的合成燃气基础设施	190
11.5 研究概述	193
11.5.1 基础设施系统中的可靠性和危险性	193
11.5.2 基础设施系统设计中的不确定性	194
11.5.3 如何捍卫公共目标	194
11.5.4 如何应对转变	194
11.5.5 跨行业的通用问题	194
11.6 总结和讨论	194
参考文献	195
第 12 章 无线传感器网络进展：体系视角下的案例研究	197
12.1 体系综述	197
12.2 作为体系的传感器网络	198
12.3 容错设计	199
12.4 决策制定	202
12.4.1 交互指标	203
12.4.2 Choquet 积分	203
12.4.3 激励的例子	204
12.5 总结	207
参考文献	207
第 13 章 服务体系	209
13.1 服务系统	209
13.1.1 突现的电子服务	211
13.1.2 与制造的关系	212
13.1.3 走向大规模定制	213
13.2 系统组成部分	214
13.2.1 人	215
13.2.2 流程	215
13.2.3 产品	217
13.3 系统集成	218

13.3.1 组成部分集成	218
13.3.2 决策集成	219
13.3.3 组织集成	221
13.4 总结	223
感谢	224
参考文献	225
第 14 章 空间探测体系工程	227
14.1 空间探测体系的关键问题	227
14.1.1 软件变成了什么	227
14.1.2 需求的复杂性及增长	229
14.1.3 接口复杂性及增长	231
14.1.4 技术性能测量和技术裕量管理	233
14.1.5 电子、电气和电动机械 (EEE) 零部件和常见故障	234
14.1.6 一体化的风险管理	235
14.1.7 关键路线执行和失败的后果	236
14.1.8 跨巨大团体的 ITAR 和所有权问题	237
14.1.9 地理分布	237
14.1.10 体系工程师的关键品质、训练和实践	239
14.2 空间探测体系工程的发展	240
14.2.1 国际空间站 (ISS)	240
14.2.2 火星科学实验室 (Mars Science Laboratory, MSL)	241
14.2.3 星座计划	242
14.3 空间探测体系工程未来的挑战	243
14.3.1 编队飞行	244
14.3.2 火星样本回送	244
14.3.3 人类探测火星	245
14.4 总结	247
感谢	248
参考文献	248
第 15 章 航天体系中的通信与导航网络	250
15.1 历史概况	250
15.1.1 早期的通信卫星	250
15.1.2 第一颗地球同步通信卫星	251
15.1.3 早期的商用通信卫星	252
15.1.4 美国国防部 (DoD) 通信卫星	253
15.1.5 航迹和数据中继卫星体系 (TDRSS)	254
15.1.6 深空网络系统	255
15.1.7 阿波罗中早期体系的通信和导航	255
15.2 航天体系	256