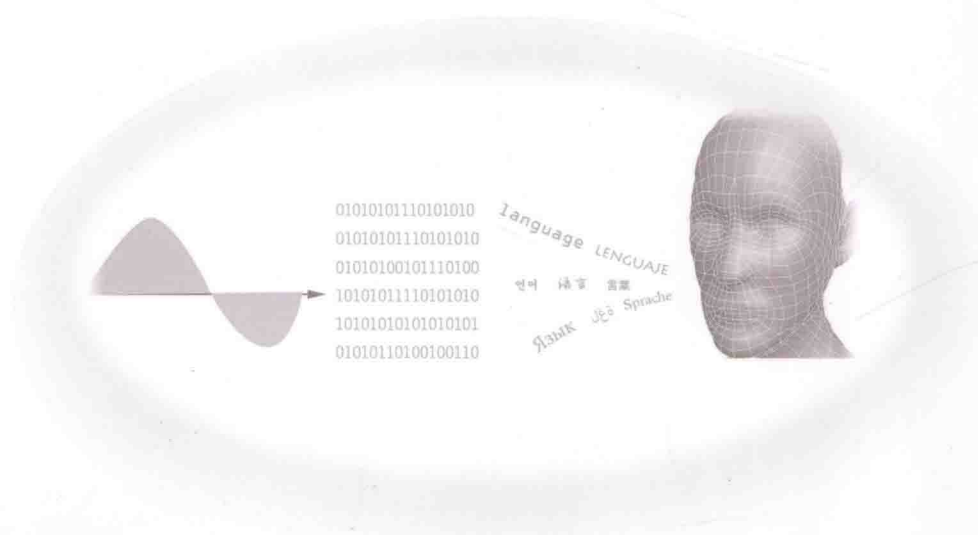


中国科协三峡科技出版资助计划

语言动力系统与 二型模糊逻辑

莫红 王飞跃 著



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

语言动力系统与 二型模糊逻辑

莫 红 王飞跃 著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

语言动力系统与二型模糊逻辑/莫红, 王飞跃著. —北京: 中国科学技术出版社, 2013. 8

(中国科协三峡科技出版资助计划)

ISBN 978-7-5046-6404-4

I. ①语… II. ①莫… ②王… III. ①人-机语言-语言逻辑学-研究
IV. ①TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 176423 号

总 策 划	沈爱民 林初学 刘兴平 孙志禹	责任编辑	周晓慧 王 丽
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 370 千字
印 张 18.25
版 次 2013 年 8 月第 1 版
印 次 2013 年 8 月第 1 次印刷
印 刷 北京华联印刷有限公司

书 号 ISBN 978-7-5046-6404-4/TP · 390
定 价 64.00 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

前 言

20 世纪 90 年代末，我曾计划写一本关于语言动力学系统的书，以便宣传和推广这一新兴的研究，吸引更多的学者加入相关的工作，但因材料和时间皆有限，最后没有完成。21 世纪初，我又联合自己的博士研究生杨涛和祝峰尝试将语言动力学与模糊逻辑及粗糙集整合起来写一本研究专著，但初稿连自己都不满意，后因种种原因最终还是无果。这两次失败的努力都是以英文进行的，使我感到高兴的是，今天中文的《语言动力系统与二型模糊逻辑》终于完成，衷心希望本书的出版能够进一步促进推动语言动力学系统和相关的研究工作。

语言动力系统（Linguistic Dynamic Systems, LDS）概念的正式提出是 1995 年，但其想法在 20 世纪 80 年代中期就已形成。当时日本提出“五代机”的计划，引发了计算机领域全球性的“逻辑编程（Logic Programming）”研究热点。那时我刚开始人工智能的学习和研究，由于个人的背景和兴趣，对逻辑编程特别是 Prolog 十分关注，并尝试利用 Lisp 开发了一种新的计算上更有效的逻辑编程语言 SProlog（S 是 Self，自我之意）。SProlog 的开发使我切身感受了“维数灾难（Curse of Dimensionality）”之痛苦；当时计算能力远不如今天，数据库（逻辑事实集）超过 100 条时，一个推理往往要几天的时间才能完成，而用标准的 Prolog 推理，往往总是“有去无回”。机房里连续数夜的煎熬和无奈的等待与期待，使我产生了将由目标向初时条件的反向逻辑推理转化成求解微分方程的由初时条件向目标正反数值计算的过程，其思想主要源自计算力学的基本原理，这就是语言动力系统想法的滥觞。

1990 年夏，我赴亚利桑那大学任教，同时开始了利用模糊逻辑对神经网络进行功能分区并利用“词（words）”而不是“数”构造神经网络及其训练和改进的过程。这是我第一次认真思考从模糊逻辑的“Linguistic Terms”和“Linguistic Variables”向“词计算（Computing with Words）”转化的问题，并于 1992 年完成了相关工作报告和会议论文。当时的焦点是如何将基于“Linguistic Terms”的纯静态初等“词计算”升华到某种更加系统化、动态的“词计算”。回想起来，这些探讨为后来正式地提出语言动力学系统铺平了思想之路。

然而，走向语言动力学的最后一步是自己涉及“Day Trader”的经历促成的。20 世纪 90 年代初“Day Trader”刚刚兴起，使普通人利用业余时间可以“自由”且实时地进出股市，从事交易。有时，同一天一支股票可以在“Day Trader”手里交易数十次，除了少数纯投机者外，多数“Day Trader”需要利用并处理大量关于被交易股票主体的信息，特别是需要对新闻媒体中的相关实时报告做出实时反应，从而不可避免地在实践中进行某种基于规则的动态“词计算”和逻辑推理。这是促使我正式提出语言动力学系统概念与词计算框架的直接动机，其最初的应用就是借助半导体行业的几个重要公司，特别是针对可编程逻辑器件公司（主要是 Altera, Xilinx, Lattice 等）股票的交易经验、交易规则、交易信息，建立相应的词计算动力学系统，实时地评估股价，为交易提供决策支持。

1994 年末，当时借调在美国国家标准和技术局（NIST）的俄裔美籍教授 Alex Meystel 打来电话，邀请我参加次年 4 月在加州 Monterey 的研讨会。原来，冷战后苏联垮台之初，俄国经济陷入困境，美国政府为了“救济”俄国的科学家，大批地邀请其中一些科学家赴美工作或短期访问。在美国政府的支持下，Alex 邀请了近 50 名俄国计算机和人工智能专家赴美，进行合作研讨，此次会议就是其中一个项目，名为“IEEE International Workshop on Architecture for Semiotic Modeling and Situation Control in Large Complex Systems”，主题是 Semiotics 方法在复杂系统，特别是情景分析中的应用。开

始我并不知道 Semiotics 是何意，Alex 介绍说是基于符号的推理方法，因此我决定利用这个机会正式推出自己关于语言动力学系统的初步工作，直觉上感到语言动力学与 Semiotics 有自然的相联之处。

1995 年春，我第一次在会上做了关于语言动力学系统的报告。报告之后的讨论之热烈，出乎我的预料。我本来刻意只在口头上讲，但在书面上回避的“词计算”，居然成了讨论的焦点，大家一致认为语言动力学系统的概念为“词计算”提供了一个很有希望的框架，但部分学者认为框架虽好最后却不一定能够绕过“维数灾难”的障碍。使我感到高兴的是，模糊逻辑的创始人，也是“Linguistic Terms”一词的提出者 Zadeh 教授也在现场，并认真地提出问题参加讨论。一年后，Zadeh 在 *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 发表了“Fuzzy Logic = Computing with Words”的文章，首次正式阐述“词计算”的概念，遗憾的是，文中他基本还有沿用其过去关于“Linguistic Terms”的想法，而且只字未提加州会上大家关于“词计算”和语言动力学系统的讨论。

会议期间，共同主持会议和俄美交流项目的 MS 找到我，问了一些关于语言动力学系统应用的问题，并邀请我参加次年在新墨西哥州的一个小型研讨会，谈一下 LDS。我问研讨会的名称和主题，他告之未定。因为新墨西哥州与亚利桑那州相连，而会议地点 Las Cruces 市和我住的图森市（Tucson）又都在南边，由跨洲高速 I-10 直接相连，开车很方便，因此我立即答应了。

1996 年 12 月，我自己开车赴 Las Cruces，这是我第一次在南部由西向东行驶，走走停停，居然花了 5 个多小时。到后才知这是新墨西哥州立大学的所在地，试验第一个原子弹的著名白沙实验室就在这里。而且，MS 讲的小型研讨会之前还有一个号称“International Workshop on Control Mechanism for Complex Systems: Issues of Measurement & Semiotic Analysis”的国际会议。其实，会上美国之外的与会者，只有几位去年在加州见过的俄国学者。MS 说国际会议是 John Casti 的主意，此君曾在我们系里短期工作过，后来在

Santa Fe Institute 十分活跃，但我一直对他的学术风格有所保留，可能是受系里几位老同事的影响。不过他临时赴欧有事没有参加会议，印象中是去参加当年的诺贝尔奖典礼。此时我才知道 MS 是现役军人，来自弗吉尼亚的陆军情报中心（也是 National Ground Intelligence Center）。讨论会上，所有材料都标明接受人的名字，会后收回，这也是我生平第一次参加如此要求的会议。

这一次的经历，使我眼界大开，第一次知道开源情报的概念，而且除了感觉到 LDS 与情报研究的密切关系之外，也萌生了将信息技术应用到社会学研究想法，对我后来的研究影响非常大。很大程度上，今天我之所以能够进入 ISI（情报与安全信息学）领域并发起社会计算的研究，这次研讨会起到了关键性的作用。

新墨西哥州之行之后，本欲全力开展 LDS 的工作，但 Caterpillar, BHP, WAVES, VISTA, ATLAS 等项目接踵而来，而且规模都很大，不可避免地占据了我几乎全部的时间，无暇没有资助、全是个人兴趣的 LDS 研究，但还是安排研究生作了一些理论上的探索。其实，我认为 LDS 的突破口是计算和应用，可是身边的学生没有这方面的兴趣和能力，当时非常希望能与具有计算力学和实验经济学背景的合作者一起从事相关的研究。

回国工作之后，我还写了《词计算和语言动力学系统的计算理论框架》和《词计算和语言动力学系统的基本问题和研究》两篇关于语言动力学系统的中文文章，并开始招收这方面的研究生。非常高兴的是，莫红博士就是我在这一领域里毕业的第一位博士研究生，更使我感到高兴的是，毕业之后，她一直坚持语言动力学系统的研究和应用，并取得了很好的成绩。2010 年，莫红还牵头组织了全国语言动力系统研讨会，至今已召开了三届，极大地促进了相关的研究。

很大程度上，我只是这本书的一位“被动”作者。除了参与构思和安排基本内容之外，并没有能够花许多时间在这本书上，其主要工作都是莫红博士所完成的。十分感谢的是，莫红博士把我过去一些关于语言动力学

系统的论文都整理到本书之中，使我还能够担当起“共同作者”之名。希望自己将来能有更多的时间，从事语言动力学系统的研究和应用。

显然，本书还有很大的改善空间，但作为 LDS 的第一本专著，我相信本书能够吸引更多的学者加入语言动力学系统的研究和应用工作，特别是希望更多的学者能够将这一方法与数据挖掘、数据驱动、机器学习、社会计算、经济计算、平行系统等具有大数据时代特色的研发结合起来，使计算方法在社会和科学的发展中发挥更大的作用。

王飞跃

2013 年 3 月

作者简介



莫 红 湖南省南县人，长沙理工大学副教授，2004年毕业于中国科学院自动化所，获工程博士学位，先后担任2011/2012 Chinese Control Conference 复杂性与复杂系统理论分组主席/共同主席，10th World Congress on Intelligent Control and Automation 主席，第二、第三届全国语言动力系统研讨会执行主席，国际学术期刊 *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, *Journal of Computer Science and Technology*, *Frontiers of Computer Science in China*, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 等审稿人。主要研究方向为语言动力系统，二型模糊集合，时变论域及词计算等。

2011年获长沙理工大学青年英才计划支持，2012年入选湖南省青年骨干教师，主持国家自然科学基金面上项目与中国科学院国家重点实验室开放课题各1项，作为骨干成员先后参与并完成国家自然科学基金面上项目3项、在研2项，发表论文40多篇，其中三大检索近20篇，获省部级一等奖1项，参编教材1部。



王飞跃 教授，1990年获美国伦塞利尔理工学院计算机与系统工程博士学位。1990年起在美国亚利桑那大学先后任助理教授、副教授和教授。1998年作为国家计划委员会“引入海外杰出人才计划”和中国科学院“百人计划”人才回国工作，曾任中国科学院自动化研究所副所长。现为中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室主任，中国科学院计算机与控制学科群学位委员会主席。主要研究领域为智能控制、复杂系统和社会计算等。20世纪80年代末从事复杂系统的

研究与应用，提出并建立了智能系统的协调结构和理论、语言动力学理论、代理控制方法、复杂系统的 ACP 方法等，并在工业界得到了广泛的应用。自 21 世纪初，发起并开拓了社会计算、平行控制、平行管理等新的研究领域。曾任 IEEE Intelligent Systems 主编及多份 IEEE 和其他主要国际期刊的副主编或编委，现任 IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 和《自动化学报》的主编。曾任 IEEE 智能交通系统学会主席（2007—2008 年）、旅美科协主席（2005 年）、北美竺可桢教育基金会会长（2006—2008 年）。现任中国自动化学会副理事长兼秘书长。2007 年获国家自然科学二等奖（唯一完成人），2003 年起先后当选 IEEE、INCOSE、IFAC、ASME 和 AAAS 等国际学术组织的 Fellow。

中国科协三峡科技出版资助计划

2012 年第一期资助著作名单

(按书名汉语拼音顺序)

1. 包皮环切与艾滋病预防
2. 东北区域服务业内部结构优化研究
3. 肺孢子菌肺炎诊断与治疗
4. 分数阶微分方程边值问题理论及应用
5. 广东省气象干旱图集
6. 混沌蚁群算法及应用
7. 混凝土侵彻力学
8. 金佛山野生药用植物资源
9. 科普产业发展研究
10. 老年人心理健康研究报告
11. 农民工医疗保障水平及精算评价
12. 强震应急与次生灾害防范
13. “软件人”构件与系统演化计算
14. 西北区域气候变化评估报告
15. 显微神经血管吻合技术训练
16. 语言动力系统与二型模糊逻辑
17. 自然灾害与发展风险

发行部

地址：北京市海淀区中关村南大街 16 号

邮编：100081

电话：010-62103354

办公室

电话：010-62103166

邮箱：kxsxch@ cast. org. cn

网址：<http://www.cspbooks.com.cn>

目 录

总 序	曹广晶
第 1 章 概 述	1
1.1 语言动力系统理论	2
1.2 二型模糊逻辑系统	5
1.3 时变论域	6
1.4 小结	7
第 2 章 模糊集合	10
2.1 集合	10
2.2 模糊集合的定义与表述	14
2.3 模糊集合的基本运算	16
2.4 扩展原理及其推广	17
2.5 模糊数	20
2.6 小结	22
第 3 章 数值动力系统	24
3.1 数值动力系统简介	24
3.2 数值动力系统的平衡态	25
3.3 平衡态的稳定性	26
3.4 分岔	27
3.5 混沌	29

3.6	N 型映射, 逆极限, 弧	31
3.7	小结	38
第 4 章	语言动力学系统的理论基础	40
4.1	语言动力系统的定义与应用	41
4.2	语言动力学的基本框架	42
4.3	语言动力系统的基本概念	45
4.4	基于胞空间和胞映射的 LDS 计算方法	46
4.5	语言动力系统的数值算法	50
4.6	小结	55
第 5 章	词计算	59
5.1	LDS 的计算单位——词	59
5.2	从 CN 到 CW	59
5.3	词计算的步骤	60
5.4	I 型 LDS 的词计算	60
5.5	II 型 LDS 的词计算	66
5.6	实例	69
5.7	词计算在复杂金融系统中的应用	71
5.8	小结	74
第 6 章	I 型语言动力学系统	76
6.1	I 型语言动力系统	77
6.2	I 型 LDS 的平衡词	84
6.3	I 型 LDS 的稳定性	84
6.4	分叉的 I 型 LDS	87
6.5	混沌的 I 型 LDS	91
6.6	扩展原理注解下的语言动力学轨迹	95
6.7	小结	98

第 7 章 虫口模型的语言动力学系统	102
7.1 虫口模型的常规动力学性质	102
7.2 虫口模型的抽象化	103
7.3 稳定的虫口模型的语言动力系统	103
7.4 分岔的虫口模型的 LDS	109
7.5 混沌的虫口模型的语言动力系统	122
7.6 小结	128
第 8 章 II 型 LDS 及其控制设计	130
8.1 II 型语言动力系统	130
8.2 语言控制器的设计过程	135
8.3 II 型 LDS 的建模与动态分析	144
8.4 II 型 LDS 的算法实现	145
8.5 II 型 LDS 的控制设计	148
8.6 小结	151
第 9 章 二型模糊集合	152
9.1 二型模糊集合的定义	152
9.2 二型模糊集合的不确定覆盖域	154
9.3 区间二型模糊集合的表述	170
9.4 二型模糊集合的隶属度	172
9.5 区间二型模糊集合的基本运算	173
9.6 区间二型模糊集合下的词计算	178
9.7 连续二型模糊集合的表述方法	184
9.8 小结	190
第 10 章 二型模糊集合下的词计算与 LDS	193
10.1 二型模糊集合与广义区间二型模糊集合	193
10.2 基于模糊函数的二型模糊集合的词计算	198

10.3	基于模糊规则的广义区间二型模糊集合的计算	206
10.4	区间二型模糊集合下的语言动力系统	207
10.5	小结	219
第 11 章	词胞与二型模糊逻辑系统	222
11.1	二型模糊集合下的词胞	223
11.2	二型模糊逻辑系统	231
11.3	小结	238
第 12 章	时变论域	241
12.1	离散时变论域	242
12.2	连续时变论域	245
12.3	小结	247
第 13 章	时变论域下的词计算	250
13.1	时变论域下的模糊集合	250
13.2	时变论域下的动态模糊规则	258
13.3	时变论域下的词计算	259
13.4	小结	260
第 14 章	时变论域下的语言动力学轨迹	262
14.1	时变论域与恒定论域上的 LDS 轨迹的区别	262
14.2	时变论域下的语言动力学轨迹	263
14.3	时变论域下语言动力系统的应用	263
14.4	小结	274