



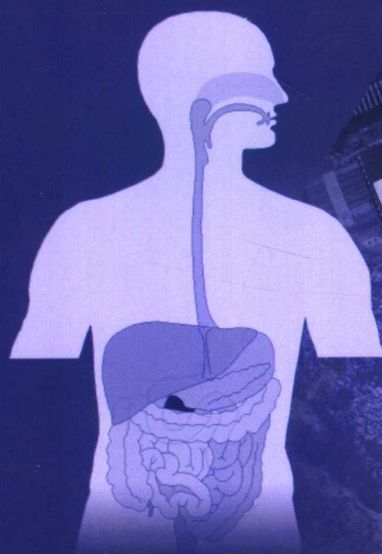
智能科学技术著作丛书

工程免疫计算

Engineering Immune Computing

肖人彬 曹鹏彬 刘勇 著

Xiao Renbin Cao Pengbin Liu Yong



科学出版社
www.sciencep.com

呈现在读者面前的《工程免疫计算》一书在工程科学与智能科学的结合上做出了有益的探索。这本学术专著通过分析人工免疫系统所要解决的工程中的各种实际问题的共性特点和聚类特征,提炼形成了工程免疫计算的概念,充实和发展了人工免疫系统的研究范畴。该书全面论述了工程免疫计算的基本概念与集成方式、基本原理与求解算法以及技术实现和基于工程免疫计算的问题求解等诸多方面的内容,立论新颖,结构严谨,研究深入,颇有创新。

中国科学院院士 熊有伦

智能科学技术著作丛书

- | | |
|------------------------------|-------|
| 智能无线传感器网络系统 | 于海斌 等 |
| HNC语言理解技术及其应用 | 晋耀红 |
| 免疫优化计算、学习与识别 | 焦李成 等 |
| 协同进化计算与多智能体系统 | 焦李成 等 |
| 高级人工智能(第二版) | 史忠植 |
| 机器知行学原理:
信息、知识、智能的转换与统一理论 | 钟义信 |
| “软件人”研究及应用 | 曾广平 等 |
| ▶ 工程免疫计算 | 肖人彬 等 |

科学出版社

电话: 010-64017506

E-mail: gcjs@mail.sciencep.com

ISBN 978-7-03-019695-8



9 787030 196958 >

销售分类建议: 计算机科学; 系统工程; 自动化

定价: 36.00 元

智能科学技术著作丛书

工程免疫计算

Engineering Immune Computing

肖人彬 曹鹏彬 刘 勇 著

Xiao Renbin Cao Pengbin Liu Yong

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书通过分析人工免疫系统所要解决的各种工程实际问题的共性特点和聚类特征,提炼形成了工程免疫计算的概念,系统阐述了工程免疫计算的有关原理及其应用。全书内容共分为8章。第1章是作为本书导引的绪论,第2章则是对人工免疫系统的概述性说明。由第3~5章组成的原理篇围绕所提出的工程免疫计算研究框架展开,包括工程免疫计算总论、工程免疫计算的基本原理与求解算法、工程免疫计算的技术实现等3章内容,乃是全书的主体部分。第6~8章分别讨论了基于工程免疫计算的机构轨迹综合、智能优化和产品功能规划等问题,构成了本书应用篇。上述3章介绍的应用成果分别对应了识别、优化、学习三类典型工程问题的求解。

本书适合从事智能计算研究与应用的科技工作者和工程技术人员阅读使用,也可作为高等院校计算机等信息类、机械等工程类的相关专业研究生和高年级本科生的教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程免疫计算=Engineering Immune Computing/肖人彬,曹鹏彬,刘勇著.
—北京:科学出版社,2007
(智能科学技术著作丛书)
ISBN 978-7-03-019695-8

I. 工… II. ①肖…②曹…③刘… III. 免疫学-应用-人工智能-工程计算 IV. TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 128314 号

责任编辑:田士勇 吴凡洁/责任校对:鲁 素

责任印制:刘士平/封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年8月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2007年8月第一次印刷 印张:14 3/4

印数:1—3 000 字数:265 000

定价:36.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

《智能科学技术著作丛书》序

“智能”是“信息”的精彩结晶，“智能科学技术”是“信息科学技术”的辉煌篇章，“智能化”是“信息化”发展的新动向、新阶段。

“智能科学技术”(intelligence science & technology, IST)是关于“广义智能”的理论方法和应用技术的综合性科学技术领域,其研究对象包括:

- “自然智能”(natural intelligence, NI),包括:“人的智能”(human intelligence, HI)及其他“生物智能”(biological intelligence, BI)。

- “人工智能”(artificial intelligence, AI),包括:“机器智能”(machine intelligence, MI)与“智能机器”(intelligent machine, IM)。

- “集成智能”(integrated intelligence, II),即:“人的智能”与“机器智能”人机互补的集成智能。

- “协同智能”(cooperative intelligence, CI),指:“个体智能”相互协调共生的群体协同智能。

- “分布智能”(distributed intelligence, DI),如:广域信息网,分散大系统的分布式智能。

1956年,“人工智能”学科诞生,50年来,在起伏、曲折的科学征途上不断前进、发展,从狭义人工智能走向广义人工智能,从个体人工智能到群体人工智能,从集中式人工智能到分布式人工智能,在理论方法研究和应用技术开发方面都取得了重大进展。如果说,当年“人工智能”学科的诞生是生物科学技术与信息科学技术、系统科学技术的一次成功的结合,那么,可以认为,现在“智能科学技术”领域的兴起是在信息化、网络化时代又一次新的多学科交融。

1981年,“中国人工智能学会”(Chinese Association for Artificial Intelligence, CAAI)正式成立,25年来,从艰苦创业到成长壮大,从学习跟踪到自主研发,团结我国广大学者,在“人工智能”的研究开发及应用方面取得了显著的进展,促进了“智能科学技术”的发展。在华夏文化与东方哲学影响下,我国智能科学技术的研究、开发及应用,在学术思想与科学方法上,具有综合性、整体性、协调性的特色,在理论方法研究与应用技术开发方面,取得了具有创新性、开拓性的成果。“智能化”已成为当前新技术、新产品的发展方向和显著标志。

为了适时总结、交流、宣传我国学者在“智能科学技术”领域的研究开发及应用成果,中国人工智能学会与科学出版社合作编辑出版《智能科学技术著作丛

书》。需要强调的是，这套丛书将优先出版那些有助于将科学技术转化为生产力以及对社会和国民经济建设有重大作用和应用前景的著作。

我们相信，有广大智能科学技术工作者的积极参与和大力支持，以及编委们的共同努力，《智能科学技术著作丛书》将为繁荣我国智能科学技术事业、增强自主创新能力、建设创新型国家做出应有的贡献。

祝《智能科学技术著作丛书》出版，特赋贺诗一首：

**智能科技领域广
人机集成智能强
群体智能协同好
智能创新更辉煌**

涂序彦

中国人工智能学会荣誉理事长

2005年12月18日

序

进入 21 世纪以来，科学技术突飞猛进，各门学科一方面日益分化，表现为新的分支在不断涌现；另一方面相互渗透，显示出交叉融合的发展态势。工程科学作为物质文明的直接支撑力量，正在逐渐从生命科学中获得启迪，寻求借鉴；两者的交叉使工程科学产生了新的动力，成为其自身发展的助推器。因此可以毫不夸张地说，工程科学朝智能化方向迈进乃是大势所趋。同时，智能计算方法作为借鉴和模拟生物结构和行为乃至自然现象、过程及其原理的各种计算方法的总称得到了迅速发展。人工免疫系统是一种新兴的智能计算方法，目前已成为智能科学研究的热点之一。

呈现在读者面前的《工程免疫计算》一书在工程科学与智能科学的结合上做出了有益的探索。这本学术专著通过分析人工免疫系统所要解决的工程中的各种实际问题的共性特点和聚类特征，提炼形成了工程免疫计算的概念，充实和发展了人工免疫系统的研究范畴。该书全面论述了工程免疫计算的基本概念与集成方式、基本原理与求解算法以及技术实现和基于工程免疫计算的问题求解等诸多方面的内容，立论新颖，结构严谨，研究深入，颇有创新。

《工程免疫计算》一书作为一本总结研究成果的学术专著，凝聚了肖人彬教授及其学生们的心血。他们以多项国家级和省部级基金项目为依托，在人工免疫系统的理论与应用方面取得了重要研究进展，在国际知名期刊以及《计算机学报》、《机械工程学报》上发表了一批学术论文。因此，我确信《工程免疫计算》的出版对推动人工免疫系统的前沿研究与工程应用，进而促进工程科学与智能科学的结合都具有重要的学术价值和现实意义。

特此作序，并向读者推荐这本高水平的著作。

中国科学院院士

熊有伦

2007 年 6 月于华中科技大学喻园

前 言

20 世纪 90 年代以来,智能计算方法作为借鉴和模拟生物结构和行为乃至自然现象、过程及其原理的各种计算方法的总称得到了迅速发展。人工免疫系统(AIS)是一种新兴的智能计算方法,目前已成为智能科学研究的热点之一。

AIS 具有分布式、自学习、自适应、自组织和鲁棒性等优良特性,具有强大的信息处理和问题求解能力。自 2000 年以来,本人一直在关注 AIS 的研究进展,阅读了许多相关文献资料,撰写的综述性论文《人工免疫系统:原理、模型、分析及展望》在《计算机学报》2002 年第 12 期上发表,2003 年进一步以 AIS 为研究内容申请了高等学校博士点基金并获得批准(项目名称:基于人工免疫系统的设计自动化方法研究及其实现)。以该项目为契机,本人和所指导的研究生按照“问题导向”的思路,围绕工程实际问题对 AIS 进行了系统深入的研究。2006 年以来,本人受聘为三峡大学“三峡学者”,这一方面的研究工作得到了三峡大学学科建设经费及该校智能视觉与图像信息研究所的继续资助,使之能够深入开展下去。

通过分析 AIS 所要解决的工程中的各种实际问题的共性特点和聚类特征,本书将工程领域中的各种 AIS 应用问题聚类归纳为若干类别的典型工程问题,在此基础上提炼形成了工程免疫计算(EIC)的概念。EIC 概念的提出充实和发展了 AIS 的研究范畴,可为更好地利用 AIS 解决工程实际中的诸多复杂问题提供可靠的理论支撑和有效的方法指导。作为一本总结研究成果的学术专著,本书全面论述了工程免疫计算的有关内容。全书共有 8 章,可分为导引篇(第 1~2 章)、原理篇(第 3~5 章)和应用篇(第 6~8 章)三大部分,包括 AIS 的兴起和 EIC 的提出、AIS 概述、EIC 的基本概念与集成方式、EIC 的基本原理与求解算法、EIC 的技术实现、基于 EIC 的问题求解(包括机构轨迹综合、智能优化、产品功能规划,分别对应了识别、优化、学习三类典型工程问题的求解)等诸多方面的内容。

这本书的另外两位作者曾在本人指导下攻读博士学位,他们按照本人拟定的写作提纲,共同完成了撰写工作,最后由本人对全书进行审读并统校定稿。本书的出版反映了所承担的高等学校博士点基金(项目编号:20030487054)的学术成果,同时也是本人担任三峡大学“三峡学者”所完成研究工作的一个总结。此外,本书第 6 章的工作得到了国家自然科学基金(项目编号:50075028)的资助,第 7、8 章的工作得到了 2004 年华中科技大学优秀博士学位论文基金的资

助，第8章的工作还得到国家自然科学基金（项目编号：50575083）的资助。上述基金项目的支持为作者及其团队创造了宽松的学术氛围和科研环境，谨在此向相关部门表示深深感谢并致以敬意。

本人由衷感谢中国科学院院士、智能制造领域的著名学者熊有伦教授为本书作序，同时感谢科学出版社田士勇编辑所付出的辛勤劳动。

工程免疫计算是非常前沿的研究领域，既富有吸引力，又颇具挑战性。它在原理、技术和实践上还未达到成熟的阶段，加之工程免疫计算涉及跨学科的知识领域，因此书中疏漏、不当之处在所难免，衷心希望读者不吝指教。

肖人彬

2007年7月11日

于华中科技大学

目 录

《智能科学技术著作丛书》序

序

前 言

第一篇 导 引 篇

第 1 章 绪论	3
1.1 引言	3
1.2 智能计算方法	5
1.2.1 智能计算方法概述	5
1.2.2 典型智能计算方法简介	6
1.3 人工免疫系统的兴起	10
1.4 工程免疫计算的提出	12
1.5 本书的篇章结构	14
参考文献	15
第 2 章 人工免疫系统概述	17
2.1 引言	17
2.2 生物免疫系统概述	18
2.2.1 免疫学基础	18
2.2.2 免疫机制	21
2.2.3 免疫学基本原理	23
2.2.4 免疫系统特性	26
2.2.5 免疫系统的借鉴意义	29
2.3 人工免疫系统的定义和特点	29
2.3.1 人工免疫系统的定义	29
2.3.2 人工免疫系统的特点	30
2.4 人工免疫系统的研究进展	31
2.5 人工免疫系统与其他智能计算方法的比较	35
2.5.1 人工免疫系统与人工神经网络的比较	35
2.5.2 人工免疫系统与进化计算的比较	37
2.5.3 人工免疫系统与群集智能算法的比较	38
2.5.4 人工免疫系统与多 Agent 系统的比较	39

2.6 小结	40
参考文献	41

第二篇 原 理 篇

第3章 工程免疫计算总论	47
3.1 引言	47
3.2 工程免疫计算的基本概念	47
3.2.1 工程免疫计算的定义与内涵	47
3.2.2 工程免疫计算与人工免疫系统的关系	49
3.3 工程免疫计算的研究内容	50
3.3.1 工程免疫计算的研究框架	50
3.3.2 工程免疫计算的研究议题	55
3.4 工程免疫计算特性分析	55
3.5 工程免疫计算的集成	58
3.5.1 概述	59
3.5.2 免疫计算与进化计算的集成	60
3.5.3 免疫计算与人工神经网络的集成	62
3.5.4 免疫计算与多 Agent 系统的集成	64
3.5.5 免疫计算与其他智能计算方法的集成	66
3.5.6 结论	68
3.6 小结	69
参考文献	69
第4章 工程免疫计算的基本原理与求解算法	72
4.1 引言	72
4.2 形态空间与抗体度量	72
4.2.1 概述	72
4.2.2 亲合度计算方法	74
4.3 工程免疫计算的仿生理理	76
4.3.1 免疫识别	76
4.3.2 免疫学习	77
4.3.3 免疫记忆	77
4.3.4 克隆选择	77
4.3.5 免疫网络	78
4.3.6 抗体多样性	78
4.3.7 免疫调节	79
4.3.8 免疫反馈	79
4.3.9 分布式	79

4.3.10 疫苗接种	80
4.3.11 免疫耐受	80
4.3.12 免疫代谢	80
4.4 工程免疫计算的基本求解算法	81
4.4.1 一般免疫算法	81
4.4.2 阴性选择算法	83
4.4.3 克隆选择算法	83
4.4.4 免疫网络算法	84
4.5 面向工程问题求解的典型应用算法	85
4.5.1 免疫识别算法	85
4.5.2 免疫优化算法	86
4.5.3 免疫学习算法	88
4.6 小结	89
参考文献	90
第5章 工程免疫计算的技术实现	93
5.1 引言	93
5.2 工程免疫计算算法的基本要素	94
5.2.1 算法原理	95
5.2.2 其他基本要素	98
5.3 工程免疫计算的一般实现步骤	100
5.4 小结	104
参考文献	105

第三篇 应 用 篇

第6章 基于工程免疫计算的机构轨迹综合	109
6.1 引言	109
6.2 基于工程免疫计算的模式识别	110
6.2.1 基于工程免疫计算的模式识别系统	110
6.2.2 基于工程免疫计算的模式识别流程	112
6.3 机构轨迹综合问题及其分析	113
6.3.1 机构轨迹综合问题概述	114
6.3.2 机构轨迹模式特征的提取	115
6.3.3 机构轨迹综合问题的求解方法	118
6.3.4 存在的问题	121
6.4 基于工程免疫计算的机构轨迹综合方法	124
6.4.1 机构轨迹间接综合问题的模式识别特性分析	124
6.4.2 免疫计算模型与方法选择	127

6.4.3 工程免疫识别系统与算法实现	127
6.4.4 控制参数设定与应用实例	129
6.4.5 算法分析	131
6.4.6 算法改进	132
6.4.7 算法完善与共性问题总结	134
6.5 小结	135
参考文献	136
第7章 基于工程免疫计算的智能优化	137
7.1 引言	137
7.2 基于工程免疫计算的 TSP 问题求解	138
7.2.1 TSP 问题	138
7.2.2 算法思路	139
7.2.3 算法原理	140
7.2.4 算法实现步骤	141
7.2.5 数值试验与分析	142
7.2.6 工程实例——岩石钻孔机路径选择	144
7.3 基于工程免疫计算的装配规划	146
7.3.1 免疫优化方法	147
7.3.2 基于免疫优化方法求解装配规划问题	150
7.3.3 应用实例	157
7.3.4 分析讨论	161
7.4 基于工程免疫计算的多峰值函数优化	165
7.4.1 面向多峰值函数优化的人工免疫网络算法原理与改进	166
7.4.2 多峰值函数优化应用实例	169
7.4.3 特征参数分析	173
7.5 小结	175
参考文献	176
第8章 基于工程免疫计算的产品功能规划	178
8.1 引言	178
8.2 公理设计的基本概念	179
8.2.1 域	179
8.2.2 域之间的“Z”字形映射变换	180
8.2.3 设计公理	181
8.2.4 设计矩阵	182
8.2.5 设计的三种形式	182
8.3 产品功能规划框架	184
8.4 功能辨识	186

8.4.1 分解操作	186
8.4.2 免疫聚类学习方法	187
8.5 功能耦合程度度量	191
8.5.1 双向比较方案	191
8.5.2 基于三角模糊数互补判断矩阵的量化方法	192
8.6 耦合功能规划	194
8.6.1 解耦	194
8.6.2 割裂	196
8.7 应用实例	197
8.7.1 实例背景说明	198
8.7.2 功能规划过程	198
8.7.3 讨论	203
8.8 小结	207
参考文献	208
英文缩写词索引	210

CONTENTS

Foreword of *the Intelligence Science & Technology Academic Monograph Series*

Foreword

Preface

Part I Introductory Part

Chapter 1 Exordium	3
1.1 Introduction	3
1.2 Intelligent Computation Methods	5
1.2.1 Overview of Intelligent Computation Methods	5
1.2.2 Brief Introduction to Some Typical Intelligent Computation Methods	6
1.3 Rise of Artificial Immune System	10
1.4 Putting forward Engineering Immune Computing	12
1.5 Organization of the Book	14
References	15
Chapter 2 Overview of Artificial Immune System	17
2.1 Introduction	17
2.2 Overview of Vertebrate Immune System	18
2.2.1 Fundaments of Immunology	18
2.2.2 Immune Mechanisms	21
2.2.3 Basic Principles of Immunology	23
2.2.4 Characteristics of Immune System	26
2.2.5 Referential Values of Immune System	29
2.3 Definition and Traits of Artificial Immune System	29
2.3.1 Definition of Artificial Immune System	29
2.3.2 Traits of Artificial Immune System	30
2.4 Research Progress of Artificial Immune System	31
2.5 Comparisons between Artificial Immune System and Some Other Intelligent Computation Methods	35
2.5.1 Comparison between Artificial Immune System and Artificial Neural Network	35
2.5.2 Comparison between Artificial Immune System and Evolutionary Computation	37
2.5.3 Comparison between Artificial Immune System and Swarm Intelligence	

.....	38
2.5.4 Comparison between Artificial Immune System and Multi-Agent System	39
2.6 Summary	40
References	41

Part II Principle Part

Chapter 3 Pandect of Engineering Immune Computing	47
3.1 Introduction	47
3.2 Fundamental Concept of Engineering Immune Computing	47
3.2.1 Definition and Connotation of Engineering Immune Computing	47
3.2.2 Relation of Engineering Immune Computing and Artificial Immune System	49
3.3 Research Contents of Engineering Immune Computing	50
3.3.1 Research Framework of Engineering Immune Computing	50
3.3.2 Research Issues of Engineering Immune Computing	55
3.4 Characteristic Analysis of Engineering Immune Computing	55
3.5 Integration of Engineering Immune Computing	58
3.5.1 Overview	59
3.5.2 Integration of Immune Computing and Evolutionary Computation	60
3.5.3 Integration of Immune Computing and Artificial Neural Network	62
3.5.4 Integration of Immune Computing and Multi-Agent System	64
3.5.5 Integration of Immune Computing and Some Other Intelligent Computation Methods	66
3.5.6 Conclusions	68
3.6 Summary	69
References	69
Chapter 4 Basic Principles and Solving Algorithms for Engineering Immune Computing	72
4.1 Introduction	72
4.2 Shape Space and Measurement of Antibodies	72
4.2.1 Overview	72
4.2.2 Calculation of Affinity	74
4.3 Bionic Principles of Engineering Immune Computing	76
4.3.1 Immune Recognition	76
4.3.2 Immune Learning	77
4.3.3 Immune Memory	77

4.3.4	Clonal Selection	77
4.3.5	Immune Network	78
4.3.6	Antibody Diversity	78
4.3.7	Immune Regulation	79
4.3.8	Immune Feedback	79
4.3.9	Distribution	79
4.3.10	Vaccination	80
4.3.11	Immune Tolerance	80
4.3.12	Immune Metabolism	80
4.4	Basic Solving Algorithms for Engineering Immune Computing	81
4.4.1	General Immune Algorithm	81
4.4.2	Negative Selection Algorithm	83
4.4.3	Clonal Selection Algorithm	83
4.4.4	Immune Network Algorithm	84
4.5	Some Typical Application Algorithms for Engineering Problems	
	Solving	85
4.5.1	Immune Recognition Algorithm	85
4.5.2	Immune Optimization Algorithm	86
4.5.3	Immune Learning Algorithm	88
4.6	Summary	89
	References	90
Chapter 5	Technology Implementation of Engineering Immune Computing	93
5.1	Introduction	93
5.2	Basic Constituents of Engineering Immune Computing	94
5.2.1	Algorithm Principle	95
5.2.2	Some Other Basic Constituents	98
5.3	General Steps to Implement Engineering Immune Computing	100
5.4	Summary	104
	References	105

Part III Application Part

Chapter 6	Mechanism Path Synthesis Based on Engineering Immune Computing	109
6.1	Introduction	109
6.2	Pattern Recognition Based on Engineering Immune Computing	110
6.2.1	Pattern Recognition System Based on Engineering Immune Computing	110